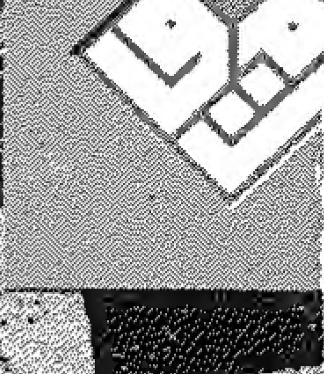
ألبرت أينشتين



ميراث الترجمة

النسبية

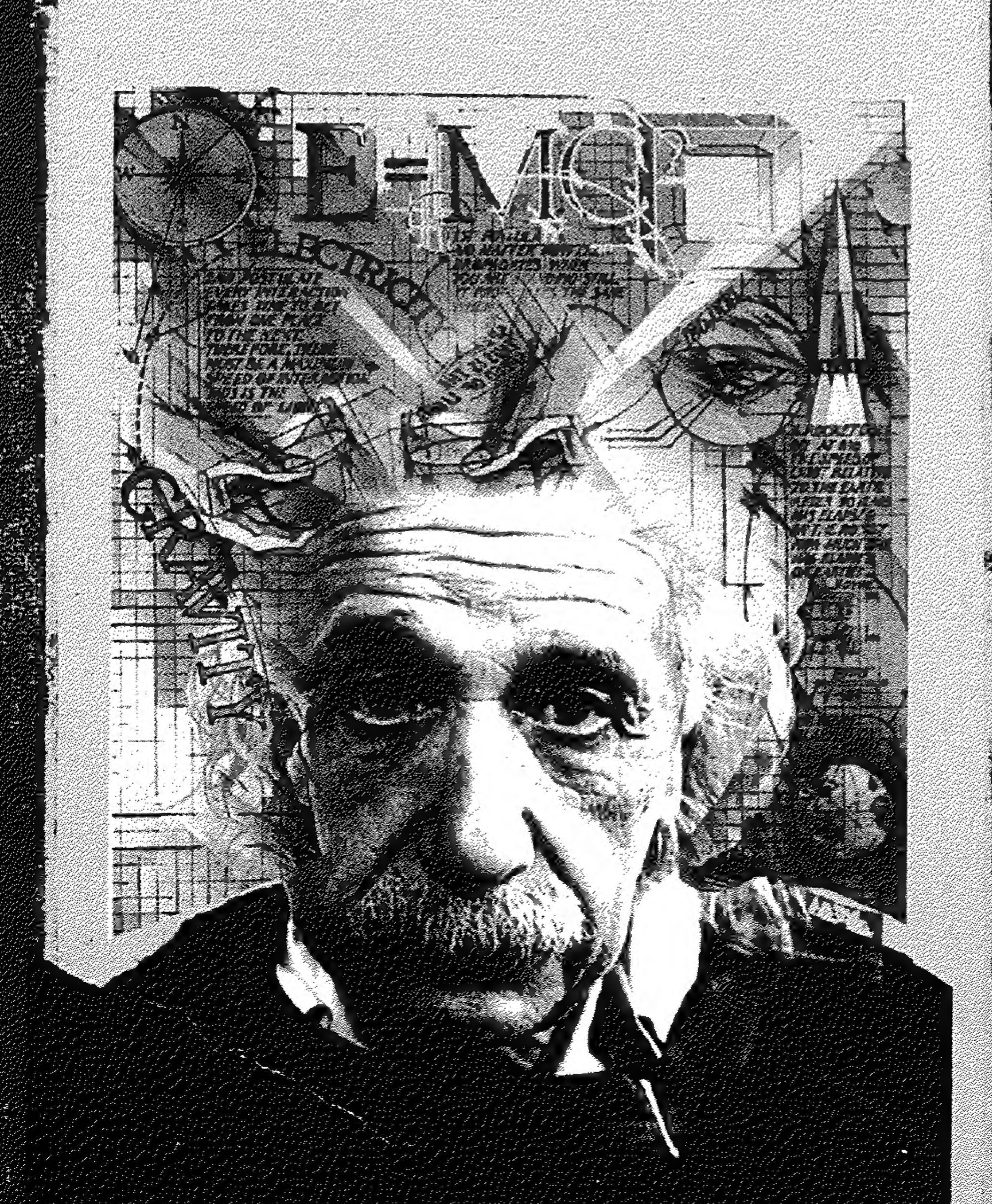
النظرية الخاصة والعامة



ترجمة : رمسيس شحاتة

راجعه : محمد مرسى أحمد

تقديم : عطية عاشور



828

إهـــــداء2005

المجلس الأعلى للثقافة

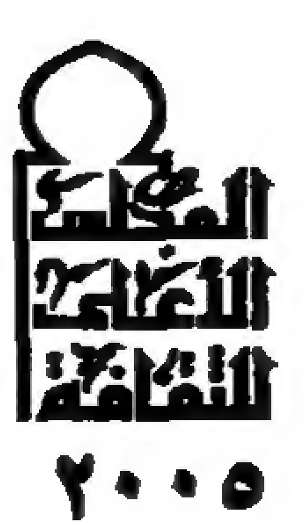
جمهورية مصر العربية

المشروع القومى للترجمة

النسبية

النظرية الخاصة والعامة

تأليف : ألبرت أينشتين
ترجمة : رمسيس شحاته
راجعه : محمد مرسى أحمد
تقديم : عطية عاشور



٢٠٠٥

المشروع القومى للترجمة
إشراف : جابر عصفور

سلسلة ميراث الترجمة
المحرر : طلعت الشايب
- العدد : ٨٢٨
- النسبية - النظرية الخاصة والعامة
- ألبرت أينشتين
- رمسيس شحاته
- محمد مرسى أحمد
- عطية عاشور
- ٢٠٠٥
- صدرت الطبعة الأولى ١٩٦٥

هذه ترجمة كتاب :

Relativity : The Special and The General Theory

تأليف : ALBERT EINSTEIN

1916

شارع الجبلاية بالأوبرا - الجزيرة - القاهرة ت ٧٣٥٢٣٩٦ فاكس ٧٣٥٨٠٨٤

El Gabalaya St., Opera House, El Gezira, Cairo

Tel : 7352396 Fax : 7358084.

تهدف إصدارات المشروع القومى للترجمة إلى تقديم مختلف الاتجاهات والمذاهب الفكرية للقارئ العربى وتعريفه بها ، والأفكار التى تتضمنها هى اجتهادات أصحابها فى ثقافاتهم ولا تعبر بالضرورة عن رأى المجلس الأعلى للثقافة .

تقديم

عطية عاشور

هذا الكتاب الذى ألفه صاحب النظرية النسبية ، والذى نشر عام ١٩١٦ وأعيد طبعه بلغته الإنجليزية خمس عشرة مرة على الأقل ، وتمت ترجمته منذ حوالى ٤٠ عاماً .

(قام بالترجمة الدكتور/ رمسيس شحاته وراجعها المرحوم أ.د. محمد مرسى أحمد) ، لا يزال من أفضل الكتب المبسطة عن النظرية النسبية الخاصة والعامة ، وسبب ذلك أن صاحب النظرية يقدم فيه أسسها فى سهولة ويسر ، ويتغلب فى براعة فائقة على تردد المتطبعين بالفيزياء الكلاسيكية فى الانفلات من الهندسة الأقليدية وما يصاحب ذلك من عدم القبول بالجديد . إن من أهم مميزات الكتاب أيضًا أنه موجه للدارسين فى نهاية المرحلة الثانوية من التعليم ويطالبهم بالصبر وبذل الجهد .

إن نتائج النظرية النسبية وتطبيقاتها قد طورت المعرفة العلمية ، وأوصلت إلى غزو الفضاء وفك الكثير من أسراره ، كما ساعدت على دراسة وتطوير نظرية الجسيمات الأولية والكثير من موضوعات الفيزياء الحديثة ، كما أن التنبؤات التى طرحتها النظرية النسبية فى الثلاثينيات والأربعينيات من القرن الماضى قد تحققت عن طريق العالمين أوبنهايمر وجورج جامو ، وقد تم الكشف عن ذلك فى النصف الثانى من القرن العشرين ، ومن هذه الأعمال الكشف عن إشعاع الخلفية الكونية بدرجة حرارة مطلقة ٢,٧٣ وذلك عام ١٩٦٥ ، وكان جورج جامو قد تنبأ بها عام ١٩٤٤ ، واكتشاف نجوم النيوترون ، التى تنبأ بها أوبنهايمر عام ١٩٣١ .

لقد صدرت ترجمة هذا الكتاب إلى العربية عام ١٩٦٥ ، أى منذ أربعين عامًا (كما ذكرنا من قبل) وإعادة طبع هذه الترجمة بمناسبة مرور ١٠٠ عام على ظهور نظرية النسبية الخاصة هو أمر جيد للغاية ، وياحبذا لو وزع هذا الكتاب على طلاب مرحلة الثانوية العامة الذين يدرسون الرياضيات والفيزياء وتقديم النظرية النسبية لهم مبسطة وبقلم صاحبها .

وأختم هذا التقديم بشكر المسئولين عن المشروع القومى للترجمة على قرار إعادة طبع الكتاب .

الألف كتاب ٥٥٩

النسبية

النظرية الخاصة والعامة

بإشراف
الادارة العامة للثقافة
بوزارة التعليم العالى

تصدر هذه السلسلة بمعاونة
لجنة النشر العلمى بوزارة التعليم العالى

الألف كتاب ٥٥٩

النسبية

النظرية الخاصة والعامة

تأليف
ألبرت أينشتين

ترجمه
دكتور رمسيس شحاتة

راجعه
دكتور محمد مرسي أحمد

دار نهضة مصر
للطبع والنشر
القاهرة
١٩٦٥

هذه ترجمة كتاب :

Relativity: The Special and The General Theory

تأليف : **ALBERT EINSTEIN**

مقدمة المؤلف

أتمنى لهذا الكتاب أن يوفر للقارئ الذى يهتم بدراسة نظرية النسبية فلسفيا وعمليا وسيلة سهلة يحقق بها أمله فى دراستها دراسة تامة حتى ولو لم يكن متمكنا من الجهاز الرياضى الذى تتطلبه دراسة الفزياء النظرية . وعلى الرغم من قلة صفحات هذا الكتاب فإن قراءته تستلزم عزما لا يلين ومثابرة على تعمق الفكر ومستوى ثقافيا يضارع مستوى القبول فى الجامعات . ولقد بذلت غاية الجهد فى سبيل توضيح الأفكار الأساسية أحسن إيضاح فوضعتها فى أبسط صورة وأسهلها فهما . أما من حيث التسلسل والارتباط فقد تركتها فى مجموعها على سجيتها مثلما خطرت لى أصلا . ولم أدخر وسعاً فى سبيل الوضوح الكامل فلم أسلم فى كثير من المواقف من التكرار ولم أهتم أى اهتمام ببلاغة الأسلوب وطلاوته فإنى مثل ل . بولتزمان — ذلك العالم الفذ — أعتقد أن أمور التأنق يجب تركها للترزى والإسكاف . ولست أدعى أنى قد باعدت بين القارئ والصعوبات المتصلة بالموضوع إنما قصدت إلى معالجة الأساس الفزيائى التجريبى للنظرية بطريقة حانية عمادها التيسير والرفق حتى لا أترك القارئ الذى لا يلم بالفزياء يشعر بالتيه أو الضياع كمن أضلته الأشجار عن الغابة . إنى أتمنى أن يهيئ هذا الكتاب للقراء لحظات من التفكير الملهم .

ديسمبر ١٩١٦ — أ . أينشتين

تعليق بمناسبة الطبعة الخامسة عشرة

لقد أضفت فى هذه الطبعة الخامسة عشرة ملحقا خامسا يتضمن آرائى فى مشكلة المكان عموما والتغيرات التدريجية التى طرأت على تصورنا له نتيجة لوجهة النظر « النسبية ». لقد أردت أن أوضح أن المكان ليس بالضرورة شيئا يمكن أن نمنحه وجودا منفصلا بطريقة مستقلة عن الأجسام الموجودة فعلا فى دنيا المادة . إن الأجسام المادية ليست « فى المكان » بل هى « امتداد مكانى » وبهذه الطريقة يفقد « تصور المكان الفارغ » معناه .

٩ يونيو سنة ١٩٥٢ — أ . أينشتين

الجزء الأول

نظرية النسبية الخاصه

الفصل الأول

المعنى الفزيائى للقضايا الهندسية

لعل الغالبية الكبرى ممن يقرءون هذا الكتاب قد تعرفوا فى حياتهم الدراسية على ما فى هندسة إقليدس من منطق نبيل ولعلهم يذكرون - احتراماً لا حباً - ذلك الصرح الشامخ الذى ساقهم فى تسلق درجه أساتذة أمناء مهرة طوال ساعات لاحصر لها. ولاشك أن القارىء سينظر بعين الريبة والازدراء إلى كل من يجرؤ على التشكيك فى صدق أية قضية من قضايا الهندسة ونظرياتها مهما كانت ثانوية . ولاشك أن السر فى ذلك هو ما تولد فى نفس القارىء خلال تجربته السابقة مع الهندسة من شعور وطيد بالثقة . ولكن . . . أليس لهذه الثقة حدود. . . . . ؟ لو أن أحدا سألك أيها القارىء العزيز: ماذا تعنى بتأكيدك أن هذه القضايا صادقة؟ -لعلك لو تأملت قليلا مضمون هذا السؤال والآفاق التى يفتحها أمامنا لرأيت أركان هذه الثقة الكاملة قد اهتزت واكتنفتها الظلال . ولذلك أعتقد أنه لابد لنا أن نتأمل هذا الأمر معا بإمعان وروية .

إن الهنـــــدسة تنبع من تصورات معينة مثل تصور المستوى والنقطة والمستقيم . ونحن نستطيع أن نربط بهذه التصورات أفكاراً محددة نوعا ما نمثلها جيدا . والهندسة تقوم بجانب ذلك على قضايا بسيطة معينـــة « بديهيات » ونحن نميل بسبب حسن تصورنا لتلك الأفكار المحددة إلى التسليم بأن هذه البديهيات صادقة . ثم بطريقة منطقية دامغة لاسبيل إلى إنكار وجاهتها نقيم الدليل على أن كل القضايا الباقية تتسلسل من البديهيات ، أى أننا نقيم بذلك البرهان عليها . ومن هنا نرى أن قضايا

الهندسة تكون صحيحة (صادقة) عندما تكون مشتقة من البديهيات على النحو المسلم به . وهكذا نجد أن البحث فى « صدق » القضية الهندسية الواحدة يتحول فى آخر الآمر إلى البحث فى «صدق» البديهيات . ولكنا قد عرفنا منذ أمد بعيد أن البحث فى صدق البديهيات لا يمكن معالجته بالطرق الهندسية بل إنه لا معنى له بالكلية فلا وجه لأن نتساءل مثلا إن كان صدقاً أنه لا يوجد إلا خط مستقيم واحد يصل بين نقطتين أم لا . كل ما يمكن أن نقوله هو أن هندسة إقليدس تعالج أشياء تسميها « خطوطا مستقيمة » وتنسب لأى واحد منها خاصية التعين بذاته بنقطتين واقعتين عليه : ونحن نعلم أن التصور الذى نعبر عنه بكلمة « صادق » نقصد به عادة شيء له وجود حقيقى . (والهندسة ليست معنية بعلاقات المفاهيم الداخلة فيها بالأشيــــاء الواقعية ولكنها معنية فقط بالصلات المنطقية لهذه المفاهيم فيما بينها .

وليس من العسير أن نرى لماذا كنا على الرغم من هذا مسوقين إلى القول « بصحة » القضايا الهندسية . فالمفاهيم الهندسية تناظر إن كثيرا أو قليلا أشياء بالذات لها وجود فى الطبيعة ، وهذه الأشياء دون ريب السبب الوحيد فى نشأة هذه المفاهيم . ولاشك أنه يجب على الهندسة أن تتنكب هذا الطريق إذا أرادت أن يكون لبنائها أكبر وحدة منطقية ممكنة . خذ مثلا تلك العادة المتأصلة فى تفكيرنا فى أن كل ما فى المسافة هو موضع نقطتين على جسم متماسك . أو أيضا ما درجنا عليه من اعتبار ثلاث نقط على استقامة واحدة إذا استطعنا أن نجعل مواضعها الظاهرية تنطبق على مسار شعاع بصرى واحد ، وذلك إذا أحسنا اختيار الموضع الذى نرصد منه هذه النقط الثلاث .

ولكنا نستطيع أن نستعيد ثقتنا الأولى إلى حد ما وذلك إذا أضفنا إلى قضايا هندسة إقليدس القضية التالية : « تناظر نقطتان على جسم

جاسىء نفس المسافة دائماً (الفترة الخطية) مهما حدث من تغيرات فى موضع الجسم ، عند ذلك نجد أن قضايا هندسة إقليدس تتحول لجأة إلى قضايا عن المواضع النسبية الممكنة للأجسام الجاسئة[1] . والهندسة التى أكملت بهذه الصورة يجب أن تعالج على اعتبارها فرعاً من الفزياء[2] . ويحق لنا عندئذ أن نتساءل عن صدق قضايا الهندسة مفسرة على هذا النحو . لأننا أصبحنا نستطيع أن نختبر هل تتفق فعلا هذه القضايا مع الأشياء الحقيقية التى ربطناها فيما سبق بالأفكار الهندسية أم لا . أو بعبارة أخرى — ولو أنها أقل دقة — يمكننا أن نعبر عن ذلك بأن نقول إننا نقصد بصدق قضية هندسية ما بهذا المعنى قابليتها للتنفيذ باستعمال المسطرة والفرجار .

وهكذا نرى بوضوح أن الاقتناع بصدق القضايا الهندسية بهذا المعنى يستند كلية على تجربة لا يمكن اعتبارها بحال من الأحوال كاملة بل هى أقرب ما تكون إلى النقص ولكننا مع ذلك سنسلم الآن بصدق القضايا الهندسية وسنرى فيما بعد (فى نظرية النسبية العامة) أن هذا الصدق محدود ، وسنحاول أن نعين مدى هذه الحدود .

* * *

---

(١) يتبع هذا ان يرتبط جسم طبيعى بخط مستقيم وهكذا تقع النقط ا ، ب ، حـ على جسم جاسىء على خط مستقيم حينما نختار النقطة ب وقد حددنا من قبل النقطتين ا ، حـ بحيث يكون مجموع المسافتين ا ب ، ب حـ أقصر مايكون . وسيفى هــذا الاقتراح الناقص بالغرض الذى ننشده حاليا .

(٢) هذا هو ما يسمى بفزياة الهندسة وهو حجر الزاوية الذى شاد عليه ريمان هندسة الفضاء الكروى المنحنى مترسما خطى لوباتشفسكى ابو الهندسات اللااقليدية وجاوس الذى اهتدى الى الوسيلة الرياضية العامة لدراسة المتصلات متعددة الابعاد . واذا اضفنا الى هذه الافكار فكرة تساوى الكتلة القصورية والكتلة الجاذبية حصلنا على هيكل نظــرية النسبية العامة (المترجم) .

الفصل الثانى

مجموعة الإحداثيات

لقد شرحنا فى الفصل السابق التفسير الفزيائى للمسافة واستناداً إلى هذا التفسير نستطيع أن نحدد بسهولة المسافة التى تفصل بين نقطتين على جسم جاسىء وذلك بوساطة القياس . وكل ما نحتاج إليه للقيام بعملية القياس هو « مسافة ما » ، ولتكن « القضيب ل مثلا » نتفق عليها مقدماً ونعتبرها وحدة عيارية للقياس فإذا كانت ا ، ب نقطتين على جسم جاسىء فإننا نستطيع إنشاء الخط الذى يوصل بينهما بالطرق الهندسية ونستطيع ابتداء من ا أن نطبق القضيب على هذا الخط وأن نكرر ذلك بحيث تطابق نقطة ابتدائه فى كل مرة نهايته فى المرة السابقة إلى أن نصل إلى ب ، وعدد مرات تكرار هذه العملية هو القياس العددى للمسافة ا ب . إن هذا هو أساس كل عمليات قياس الأطوال[1] .

إن كل وصف لمسرح أية حادثة أو لموضع جسم ما فى الفضاء يستند أساساً إلى تعيين النقطة التى تناظر مسرح الحادثة أو موضع الجسم من نقط مجموعة الإسناد . وليس هذا النحو فى وصف مسارح الحوادث ومواضع الأجسام وقفاً على العلم وحده بل إنه فى الواقع عين ما نلجأ إليه فى حياتنا اليومية . إننا إذا تأملنا تحليلياً التحديد المكانى : « حادثة فى ميدان

(١) لقد فرضنا هنا انه لم يتبق شىء اى نتيجة القياس عدد صحيح ونحن نتغلب على هذه المشكلة ايضا باستعمال قضبان القياس المقسمة الى اجزاء واستعمالها على هذه الصورة لا يتطلب تعديلا جوهريا فى طريقة القياس .

التحرير بالقاهرة مثلا ، أمكن أن نصل بسهولة إلى النتيجة التالية : إن الأرض هي مجموعة الإسناد التي نسند إليها التعيين المكانى ،وميدان التحرير نقطة محددة جيداً على سطح الأرض أطلق عليها هذا الاسم وهذه النقطة هى النقطة التى تتفق ومسرح الحادثة فى المكان .[1] .

وهذه الطريقة البدائية فى تعيين المكان لا تصلح إلا بالنسبة للأماكن التى تقع على سطوح الأجسام الجاسئة وبشرط وجود نقط على هذه الأجسام يمكن تمييزها عن غيرها من النقط . ولكننا نستطيع أن نتحرر من كل هذه القيود دون أن نغير الأساس الذى نعتمد عليه فى تعيين المواضع . فإذا كانت هناك سحابة فوق ميدان التحرير مثلا فإننا نستطيع أن نعين مكانها بالنسبة إلى سطح الأرض بأن نقيم عموداً يصل بينها وبين الميدان وطول هذا العمود مقيساً بقضيب القياس العيارى مشتركا مع ما يحدد نقطة قاعدة العمود يعطيانا معاً تحديداً كاملا لموضع السحابة فى الفضاء . ومن هذا المثل نرى بوضوح الطريقة التى تم بها تهذيب الفكرة الأساسية فى عملية تحديد المواضع عموماً . وتتلخص خطوات هذه العملية فيما يلى :

(ا) أن نتخيل الجسم الجاسىء الذى نسند إليه التعيين المكانى مزوداً على نحو يمكنه من الوصول إلى الجسم المراد تعيين موضعه .

(ب) نستعمل فى تحديد موضع الجسم عدداً بدلا من الالتجاء إلى نقط إسناد معينة (وهى فى هذه الحالة طول العمود مقيساً بقضيب القياس « وحدة القياس ») .

---

(١) ليس من الضرورى هنا أن نتقصى الى ابعد من ذلك معنى عبارة الاتفاق فى المكان فهذا التصور واضح الوضوح الكافى لتجنب اختلاف الرأى حول امكان تطبيقه عمليا .

(ح . نستطيع أن نحصل على ارتفاع السحابة حتى ولو لم نقم العمود فعلا فنحن إذا رصدنا السحابة ضوئيـاً من مواقع مختلفة على الأرض . وإذا أدخلنا فى حسابنا خواص انتشار الضوء نستطيع أن نعين طول العمود الذى كان علينا أن نقيمه حتى نصل إلى السحابة .

مما تقدم نرى أنه سيكون من المستحسن لو أمكن عند وصف المواقع عموماً أن نتحرر بطريقة القياسات العددية من ضرورة الالتجاء إلى ذكر مواقع معينة لها أسماء خاصة تتميز بها على مجموعة الإسناد التى نرجع إليها . ونحن نحقق ذلك فى القياسات الفيزيائية بتطبيق مجموعة إحداثيات ديكارت .

وهى تتكون من ثلاثة سطوح مستوية متعامدة ومرتبطة ارتباطا جاسئاً بجسم جاسىء . ويتحدد موقع أية حادثة إذا أسندناه إلى مجموعة الإسناد بتعيين أطوال ثلاثة الأعمدة أو الإحداثيات (س. ص. ع) التى يمكن إسقاطها من مسرح الحادثة على ثلاثة السطوح المستوية التى تكون مجموعة الإسناد . وأطوال هذه الأعمدة الثلاثة يمكن تحديدها بسلسلة من عمليات القياس تتم باستعمال قضبان القياس تبعاً للقواعد والطرق التى وضعتها هندسة إقليدس .

وليس من المستطاع دائماً فى الحياة العملية الحصول على السطوح الجاسئة التى تتكون منها مجموعة الإســـناد ، وفوق ذلك فإن مقادير الإحداثيات لا تحدد عملياً بطريق القياس المباشر بقضبان القياس فقط . ولكن بطرق غير مباشرة أيضا ، فإذا كنا نريد أن تحتفظ النتائج التى توصلنا اليها فى الفزياء والفلك بوضوحها يجب أن لا يغيب عن بالنا أن تعيين المواقع يفقد معناه الفزيائى مالم يخضع للاعتبارات التى ذكرناها آنفا[1] .

---

(١) لا يصبح اكمال وتحوير هذا الاعتبار ضروريا الى ان نعالج نظرية النسبية العامة التى سنناقشها فى الجزء الثانى من هذا الكتاب .

وهكذا نصل إلى النتيجة التالية : إن وصف الحوادث التى تتم فى الفضاء يحتم علينا الالتجاء إلى مجموعة إسناد جاسئة تنسب إليها هذه الحوادث ، والعلاقة الناتجة تسلم جدلا بأن قوانين الهندسة الإقليدية تنطبق على المسافات باعتبار المسافة يمثلها فزيائياً اتفاق سابق على علامتين على جسم جاسىء .



الفصل الثالث

المكان والزمان فى الميكانيكا الكلاسيكية

« إن الميكانيكا تهدف إلى وصف كيفية تغيير الأجسام لمواقعها فى المكان بمرور الزمن » . لا شك أنى لو ألقيت مثل هذا القول على علاته دون تفكير جدى وإيضاحات مفصلة عن أهداف الميكانيكا أكون قد أثقلت ضميرى بآثام جسام ضد روح الوضوح المقدسة .

والآن دعنا نكشف الغطاء عن هذه الآثام وأولها هو عدم وضوح ماتقصده هنا بكلمتى «الموقع» و «المكان» . فإذا فرضنا أنى أقف بنافذة عربة قطار يسير بسرعة انتقال منتظمة وأنى أسقطت حجراً على طريق السكة الحديدية دون أن أقذف به فإنى إذا تغاضيت عن أثر مقاومة الهواء أجد أن هذا الحجر يظهر بالنسبة لى كأنه يسقط فى خط مستقيم بينما يراه رجل واقف على جانب الطريق يسقط إلى الأرض فى منحنى يسمى قطع مكافىء . وإنى أتساءل الآن هل تقع النقط التى مر بها الحجر « فى الحقيقة » على خط مستقيم أو على منحنى قطع مكافىء ؟ وفوق ذلك ماذا نقصد هنا بعبارة الحركة « فى المكان » . . . ؟ إننا فى ضوء الاعتبارات التى قدمناها فى الفصل السابق نجد أن الجواب على هذا السؤال واضح للعيان والسبيل إليه هو أن نحذف أولا وقبل كل شىء تلك الكلمة الغامضة «المكان» التى تقتضى الأمانة أن نعترف بأننا لا نستطيع أن نكون عنها أدنى فكرة ، ثم نحل محلها عبارة « الحركة بالنسبة إلى مجموعة إسناد جاسئة » . أما المواقع بالنسبة إلى مجموعة الإسناد (عربة القطار أو قضيب السكة الحديدية) فقد سبق لنا تعريفها تفصيلا فى الفصل السابق فإذا وضعنا بدلا من عبارة « مجموعة الإسناد »

عبارة « مجموعة الإحداثيات » - وهى فكرة رائعة يمكن الاعتماد عليها فى الوصف الرياضى — نجد أننا قد أصبحنا فى موقف يؤهلنا لأن نقول : « إن الحجر يقطع عند سقوطه خطاً مستقيما بالنسبة إلى مجموعة إسناد مرتبطة ارتباطاً جاسئاً بعربة القطار ولكنه بالنسبة إلى مجموعة إسناد مرتبطة ارتباطاً جاسئا بالأرض قضيب السكة الحديدية) يقطع قطعاً مكافئاً » ونحن نرى بوضوح بفضل هذا المثل أنه لا وجود لشىء مثل « مسار مستقل الوجود » (حرفياً منحنى المسار)[1] إنما كل ما هناك هو مجرد مسار نسبى بالنسبة إلى مجموعة إسناد خاصة .

ولكى يكون وصفنا للحركة كاملا يجب أن نعين كيف يغير الجسم موقعه بمرور الزمن. أى أننا يجب أن نذكر بالنسبة إلى كل نقطة على المسار وقت وجود الجسم بهذه النقطة . وحتى هذه المدلولات لا تكفى لأن تجعل وصفنا للحركة كاملا إنما يجب أن يضاف إليها تعريف للزمن يجعل من المستطاع اعتبارها — وهى قيم زمانية أصلا — مقادير (نتائج للقياس) يمكن معرفتها عن طريق الملاحظة وفى حالة المثل التوضيحى السابق نصل إلى تحقيق هذا الهدف - على أساس الميكانيكا الكلاسيكية - بأن نتصور أن هناك ساعتين متشابهتين فى التركيب إحداهما مع الراصد الذى يطل من نافذة القطار والأخرى مع الراصد الذى على جانب الطريق الحديدى وأن نطلب إليهما أن يحدد كل منهما موضع الحجر بالنسبة إلى مجموعة إسناد كل منهما فى كل لحظة تعينها الساعة . ونحن نتجاوز فى هذا عن الخطأ الذى يترتب على سرعة انتشار الضوء المحددة . وسنتكلم بالتفصيل عن ذلك وعن صعوبة أخرى قائمة هنا فى فصول تالية .

* * *

(١) اى المنحنى الذى يتحرك عليه الجسم .

الفصل الرابع

مجموعة الإحداثيات الجاليلية

كلنا نعلم جيداً أننا نستطيع لو شئنا أن نضع القانون الأساسى لميكانيكا جاليليو — نيوتن وهو المعروف بقانون القصور الذاتى على النحو الآتى : « كل جسم معزول بدرجة كافية عن بقية الأجسام يستمر ساكناً أو متحركاً بحركة منتظمة فى خط مستقيم » . وهذا القانون لا يدلنا إلى حد ما على حركة الأجسام فحسب بل إنه يشير أيضاً إلى مجموعات الإسناد أو مجموعات الإحداثيات الممكنة فى الميكانيكا والتى يمكن الالتجاء إليها عند الوصف الميكانيكى . فالنجوم الثابتة التى يمكن رؤيتها أجسام معزولة بدرجة كافية، ويمكن أن يطبق عليها قانون القصور الذاتى إلى درجة عالية من التقريب . ولكننا إذا استعملنا مجموعة إحداثيات مرتبطة بالأرض ارتباطاً جاسئاً نجد أن كل نجم ثابت يتحرك بالنسبة إلى هذه المجموعات فى دائرة هائلة القطر خلال يوم فلكى وهذا يجعل هذه المجموعات تتعارض مع نص قانون القصور الذاتى ولذلك إذا أردنا التمسك بهذا القانون وجب علينا قصر إسناد الحركات عموماً على مجموعات الإحداثيات التى تكون حالتها من الحركة بحيث ينطبق عليها قانون القصور الذاتى وتسمى « مجموعة إحداثيات جاليلية » ولا تعتبر قوانين ميكانيكا جاليليو - نيوتن صحيحة إلا بالنسبة إلى مجموعات الإحداثيات الجاليلية هذه فقط .

* * *

الفصل الخامس

مبدأ النسبية (بالمعنى المقيد)

دعنا نعود تلمساً لأقصى وضوح ممكن إلى مثل عربة القطار التى تتحرك بسرعة منتظمة . إننا نسمى حركتها انتقالا منتظماً (منتظماً لأن سرعته واتجاهه ثابتان وانتقالا لأنه بالرغم من أن العربة تغير موضعها بالنسبة إلى قضيب السكة الحديدية فإنها مع ذلك لا تدور أثناء حركتها) ولنفرض الآن أن غراباً يطير بحيث تبدو حركته لمن يرقبها من فوق قضيب السكة الحديدية منتظمة وفى خط مستقيم . إننا إذا كان علينا أن نرصد نفس الغراب الطائر ونراقبه من عربة القطار المتحركة لوجدنا أن حركته سوف تبدو مختلفة السرعة والاتجاه عنها فى الحالة الأولى ولكنها ستظل مع ذلك منتظمة وفى خط مستقيم . ولهذا يمكن أن نقول على وجه التجريد « إذا كانت الكتلة ك تتحرك بانتظام فى خط مستقيم بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م فإنها تكون أيضاً متحركة بحركة منتظمة وفى خط مستقيم بالنسبة إلى مجموعة إسناد أخرى مَ مادامت مجموعة الإسناد الأخيرة تتحرك بحركة انتقال منتظمة بالنسبة إلى المجموعة م » وتبعاً لما ذكرنا فى الفصل السابق نرى أنه :

إذا كانت م مجموعة إسناد جاليلية فإن كل مجموعة إسناد أخرى مَ تكون جاليلية أيضاً عندما تكون فى حالة حركة انتقال منتظمة بالنسبة إلى المجموعة م فتكون قوانين ميكانيكا جاليليو — نيوتن صحيحة بالنسبة إلى المجموعة مَ مثل ما هى صحيحة بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م .

والآن دعنا نتقدم خطوة أخرى فى تعميمنا فنعبر عن المبدأ على هذا النحو :— « إذا كانت مَ مجموعة إسناد تتحرك بحركة منتظمة خالية من الدوران بالنسبة إلى م فإن كل الظواهر الطبيعية بالنسبة إلى مَ تخضع لنفس القوانين الطبيعية العامة التى تخضع لها فى م » ويسمى هذا النص « مبدأ النسبية » (بالمعنى المقيد) .

وعندما كنا مقتنعين بأن كل الظواهر الطبيعية يمكن تمثيلها بمساعدة قوانين الميكانيكا الكلاسيكية لم يكن هناك داع إلى الشك فى صحة مبدأ النسبية ، ولكنه ظهر شيئاً فشيئاً مع تقدم الديناميكا الكهربائية وعلم البصريات أن الميكانيكا الكلاسيكية لم تعد تقدم أساساً كافياً لوصف كل الظواهر الطبيعية ، وعند ذلك قفز السؤال عن صلاحية مبدأ النسبية وصحته إلى مسرح المناقشـــة ، ولم يستبعد فى ذلك الحين أن تكون الإجابة عليه بالنفى .

ومع ذلك فهناك حقيقتان عامتان ضخمتان تؤيدان تأييداً واضحاً صدق مبدأ النسبية . فالميكانيـكا الكلاسيكية بالرغم من أنها أصبحت لاتمدنا بأساس شامل يكفى لأن يفسر نظرياً كل الظواهر الطبيعية فإننا لانستطيع أن ننكر عليها قدراً عظيما من « الصدق » حيث إنها تفسر لنا تفسيراً يبلغ حد الروعة فى دقته حركات الأجرام السماوية وعلى ذلك يجب أن يصدق مبدأ النسبية بدقة عظيمة فى مجال الميكانيكا أيضاً . أما أن يصدق بهذه الدقة العظيمة مبدأ عام كهذا فى مجال من مجالات الظواهر وأن يكبو فى غيرها فأمر يكاد يكون بديهياً أنه غير محتمل .

أما الحجة الأخرى ولو أننا سنعود إليها فيما بعد فتتلخص فى أنه إذا كان مبدأ النسبية (بالمعنى المقيد) خطأ فإن مجموعات الإسناد الجاليلية م ، مَ ، مً ... إلخ التى تتحرك بحركة منتظمة بالنسبة لبعضها البعض لن تكون متكافئة من حيث ملاءمتها لوصف الظواهر الطبيعية وفى هذه الحالة سنجد

أنفسنا محمولين على الاعتقاد بأن القوانين الطبيعية لا يمكن التعبير عنها بطريقة سهلة إلا فى حالة خاصة واحدة وذلك عندما نكون قد اخترنا كمجموعة إسناد لنا من بين كل مجموعات الإحداثيات الجاليلية مجموعة واحدة م لها حالة خاصة من الحركة ، وسيحق لنا عندئذ (وذلك بسبب مزاياهذه المجموعة من حيث الملائمة فى وصف الظواهر الطبيعية) أن نسمى هذه المجموعة م فى حالة « سكون مطلق » وكل المجموعات الجاليلية الأخرى مَ فى حالة « حركة » . فإذا كان طريق السكة الحديدية مثلا يناظر المجموعة م فإن عربة القطـــــار تناظر المجموعة مَ وتكون القوانين الخاصة بالمجموعة الأولى م أبسط من قوانين المجموعة الثانية مَ . وهذا التعقيد فى قوانين المجموعة الثانية مرجعه أن العربة تتحرك « فى الحقيقة بالنسبة إلى م وسيتدخل مقدار واتجاه سرعة العربة فى تحديد القوانين الطبيعية العامة بالنسبة إلى مجموعة الإسناد مَ . لذلك كان علينا أن نتوقع مثلا أن تختلف نغمة صادرة عن أنبوبة أرغن محورها فى اتجاه حركة العربة عن نغمة صادرة من نفس أنبوبة الأرغن عندما يكون محورها فى اتجاه عمودى على اتجاه حركة العربة . ولما كانت الأرض بسبب حركتها فى مدارها حول الشمس تشبه عربة قطار تتحرك بسرعة ٣٠ كم فى الثانية فعلينا إذاً أن نتوقع إذا كان مبدأ النسبية غير صحيح أن يتدخل إتجاه حركة الأرض فى تكييف القوانين الطبيعية ، وكذلك سوف يعتمد سلوك المجموعات الفيزيائية على اتجاهها فى الفضاء بالنسبة للأرض لإنه لما كان اتجاه سرعة الأرض فى دورانها يتغير خلال العام فإنها لا يمكن أن تكون فى حالة سكون بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م خلال العام كله. ولكنه لم يحدث أبداً أن كشفت الملاحظة الدقيقة عن أى تأثير أو تدخل للاتجاهات فى تحديد القوانين الطبيعية فى الفضاء الأرضى ، أى أننا لم نجد أى اختلاف أو فارق بين خواص الاتجاهات المختلفة فى الفضاء لأنها كلها متكافئة وهذا تأييد قوى لمبدأ النسبية.

الفصل السادس

نظرية تركيب السرعات المستعملة فى الميكانيكا الكلاسيكية

تخيل أيها القارىء العزيز عربة القطار تتحرك على القضبان بسرعة ثابتة قدرها ع وتخيل رجلا يعبر العربة طولا فى اتجاه سير القطار بسرعة قدرها عَ فبأية سرعة يتحرك هذا الرجل بالنسبة إلى قضبان السكة الحديدية . . . . ؟ إذا ظل الرجل ساكنا فى العربة مدة ثانية فإنه يقطع فى هذه الثانية مسافة قدرها ع مساوية عدديا لسرعة العربة ولكنه فى الواقع نظراً لسيره فى العربة يقطع فى هذه الثانية مسافة إضافية قدرها عَ بالنسبة للعربة وبالتالى بالنسبة للقضبان أيضاً وتساوى عدديا سرعة سيره. وهكذا يكون مجموع مايقطعه فى الثانية بالنسبة إلى القضبان هو س = ع + عَ وسنرى فيما يلى أن هذه النظرية وتسمى فى الميكانيكا الكلاسيكية نظرية تركيب السرعات لايمكن الاحتفاظ بها ، أى أن القانون الذى ذكرناه آنفا لايمثل الحقيقة ولو أننا سنسلم الآن بصحته إلى حين .

* * *

الفصـــل الســـابع

التناقض الظاهرى

بين قانون انتشار الضوء ومبدأ النسبية

يصعب أن نجد فى الفزياء قانوناً أبسط من قانون انتشار الضوء فى الفراغ ؛ فكل أطفـال المدارس يعرفون أو يظنون أنهم يعرفون أن هذا الانتشار يحدث فى خط مستقيم بسرعة قدرها ٣٠٠,٠٠٠ ك م فى الثانية . ونحن نعرف على أية حال بمنتهى الدقة أن هـذه السرعة واحدة بالنسبة لـكل الألوان ، لأنه لو لم يكن الأمر كذلك لما استطعنا رؤية أقل ومضة من نجم ثابت بالنسبة للألوان المختلفة متزامنة وذلك أثناء كسوف ذلك النجم بوساطة جاره المظلم . ولقـد استطاع الفلـكى الهولندى دى ستر استناداً إلى اعتبارات مماثلة قائمة على دراسة النجوم المزدوجة أن يثبت أيضاً أن سرعة انتقال الضوء لا تتأثر بحركة المصدر الذى يصدر منه والزعم ، القائل بأن سرعة انتشار الضوء تعتمد على اتجاهه « فى الفضاء » زعم فى حد ذاته غير محتمل .

إننا باختصار مدعوون إلى أن نسلم مع أطفال المدارس بقانون ثبوت سرعة انتشار الضوء (فى الفراغ) حـ . من كان يتخيل أن هذا القانون البسيط قد أوقع علماء الفزياء أمناء التفـكير فى أكبر المآزق الفـكرية . . . ! دعنا نرى الآن كيف كان ذلك .

إننا نعلم جميعاً أنه يجب علينا أن نسند عملية انتشار الضوء (وكذلك

كل عملية أخرى فى الواقع) إلى مجموعة إسناد جاسئة (مجموعة إحداثيات) وليكن طريق السكة الحديدية الذى يمكن أن نتصوره فى فراغ تام فإذا أرسلنا شعاعاً ضوئياً على طول الطريق فإن رأس هـذا الشعاع يتحرك بالسرعة حـ بالنسبة للطريق ولكننا إذا تخيلنا عربة القطار تسير بسرعة ثابتة على الطريق قدرها ع فى نفس اتجاه شعاع الضوء فماذا تكون سرعة انتشار الضوء بالنسبة إلى عربة القطار . . . . ؟ من الواضح أننا نستطيع هنا أن نطبق النظرية التى شرحناها فى الفصل السابق حيث يلعب شعاع الضوء دور الرجل بالنسبة إلى عربة القطار ونستبدل السرعة ع وهى سرعة الرجل بالنسبة إلى الطريق بسرعة الضوء بالنسبة إلى الطريقة وتكون س هى السرعة المطلوبة وهى سرعة الضوء بالنسبة إلى العربة وعلى ذلك يكون لدينا :

$$س = حـ - ع$$

وهكذا يكون انتشار الضوء بالنسبة للعربة أقل من حـ

ولكن هـذه النتيجة تناقض مبدأ النسبية الذى أوضحناه فى الفصل الخامس والذى ينص على أن قانون انتشار الضوء فى الفراغ ككل قانون طبيعى آخر يجب أن يظل واحدا سواء كانت مجموعة الإسناد هى طريق السكة الحديدية أو العربة . ولقد رأينا أن هذا يبدو مستحيلا فى ضوء ما تقدم لأنه إذا كانت سرعة انتشار الضوء بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية هى حـ فإنه تبعاً لما تقدم يجب أن يكون هناك قانون آخر لسرعة انتشار الضوء بالنسبة إلى العربة وهذه هى نقطة الخلاف مع مبدأ النسبية .

وأمام هـذه المشكلة لم يكن هناك بد من الاستغناء عن واحد منهما : مبدأ النسبية أو قانون انتشار الضوء فى الفراغ والقراء الذين تتبعوا جيداً الفصول السابقة يتوقعون بالتأكيد أننا سنقف فى صف النسبية وذلك لأنه شديد الإقناع ، غاية فى البساطة وطبيعى جداً وفى هذه الحالة يجب استبدال قانون انتشار الضوء فى الفراغ بقانون آخر أكثر تعقيداً ولكنه يتفق

ومبدأ النسبية . ولكن تقدم الفزياء النظرية قد أوضح بجلاء أن هذا التعديل أمر غير مستطاع فقد أثبتت الأبحاث النظرية التي كان لها أثر بالغ والتي أجراها هـ. ا. لورنتز على الظواهر الديناميكة الكهربية والظواهر الضوئية المتعلقة بالأجسام المتحركة أن التجربة في هذا المضمار تؤيد تماماً تفسيراً للظواهر الكهرومغناطيسية يستلزم الاحتفاظ بقانون ثبوت سرعة الضوء في الفراغ . وهنا احتدم الصراع بين الرأيين . وقد مال فزيائيون كبار عندما وصلنا إلى هذا الوضع إلى التخلي عن مبدأ النسبية بالرغم من أن أحداً لم يتوصل بأية حال من الأحوال إلى نتائج تجريبية تتعارض مع هذا المبدأ .

وفي هذه الأزمة المستحكمة تقدمت نظرية النسبية إلى الحلبة وأدلت بدلوها وبدا واضحاً عند ذلك تمام الوضوح نتيجة لتحليل تصورات الفزياء عن المكان والزمان أنه « لا أثر في الحقيقة لأي تعارض بين مبدأ النسبية وقانون انتشار الضوء » . وإننا بالتمسك بانتظام بكلا هذين القانونين نستطيع الوصول إلى نظرية متماسكة منطقياً . ولقد سميت هذه النظرية بنظرية النسبية الخاصة تمييزاً لها عن النظرية الأوسع التي سنعالجها في آخر هذا الكتاب . أما في الصفحات التالية فسنقدم الأفكار الأساسية في نظرية النسبية الخاصة .

الفصل الثامن

فكرة الزمن فى الفزياء

هب أن صاعقتين جويتين أصابتا قضبان السكة الحديدية المعهودة فى مكانين ا ، ب متباعدين جداً . وهب فوق ذلك أنى أكدت لك أن هاتين الصاعقتين قد حدثتا فى وقت واحد . إنى لو سألتك أيها القارىء العزيز هل هناك أى معنى لهذا القول ؟ لأجبت على الفور بالإيجاب . ولكنى لو طالبتك بأن تشرح لى بإسهاب ودقة معنى هذا الكلام لوجدت بعد قليل من التأمل أن الأمر ليس هيناً كما يبدو لأول وهلة .

وربما خطرت لك بعد قليل هذه الإجابة : «إن معنى هذا الكلام واضح لا يحتاج إلى تفسير وطبيعى أن الأمر سيحتاج إلى بعض التدبر لو كان على أن أقرر عن طريق الملاحظة ما إذا كانت الصاعقتان فى هذه الحالة قد حدثتا فى آن واحد أم لا» . ولكنى شخصيا لا يمكن أن أرضى بهذه الإجابة للسبب التالى — : هب أن فلكياً ماهراً استطاع أن يكتشف خلال تأملاته العبقرية أن الصاعقة لابد أن تصيب ا ، ب فى وقت واحد، فعندذلك سيكون علينا أن نختبر إذا كانت هذه النتيجة النظرية تتفق والحقيقة، وعند ذلك ستجابهنا نفس الصعوبة التى تقابلنا فى كل أمور الفزياء التى تتدخل فيها فكرة الآنية أو التزامن . إن هذا التصور لا وجود لها بالنسبة إلى عالم الفيزياء ما لم تتح له فرصة اكتشاف ما إذا كان قد تحقق فعلا أم لا . وهكذا نرى أننـــا فى احتياج إلى تعريف الآنية وتحديد معناها تعريفا يمدنا بوسيلة نستطيع بها فى الحالة الراهنة أن نقرر تجريبيا هل حدثت الصاعقتان الجويتان فعلا فى وقت واحد أم لا . وطالما لم يتوافر هذا الشرط ولم أحقق هذه النتيجة فإنى

أنا عالم الفزياء (وبالطبع أيضا إن لم أكن عالم فزياء) أخدع نفسى حينما أتصور أنى أستطيع أن أعطى النص على الآنية أى معنى (فشرط التسليم بوجود الآنية هو إمكان التحقق منها عملياً وإلا فليس هناك آنية)[1] وإنى أسأل القارىء ألا يتابع القراءة مالم يكن تام الاقتناع بهذه النقطة .

وربما بعد أن تأملت الأمر مليا خطرت لك الفكرة التالية كوسيلة عملية للتحقق من الآنية ألا وهى أن نقيس المسافة بين ا ، ب وأن نضع راصداً فى نقطة الوسط (و) مزوداً بوسيلة ما (مرآتين متعامدتين مثلا) تمكنه من رؤية ا ، ب معا . فإذا رأى مثل هذا الراصد الصاعقتين فى وقت واحد فهما إذا آنيتان .

ويسرنى جداً أن أوافق على هذا الرأى ولو أنه فى نظرى لا يحسم الموضوع فإنى أشعر أنى ملزم أن أقدم الاعتراض التالى : إن هذا التعريف للآنية صحيح لاشك فى ذلك لو أننى كنت أعلم أن الضوء الذى يرى به الراصد وميض الصاعقة يقطع المسافة (ا و) بنفس السرعة التى تقطع بها المسافة (و ب) ولا نستطيع اختبار صحة هذا الفرض ما لم يكن لدينا وسيلة لقياس الزمن . وهكذا يبدو أننا ندور فى حلقة مفرغة .

وربما بعد تأمل قليل أجبت ساخرا منى ولديك كل العذر قائلا : إننى متمسك بتعريفى السابق للآنية رغم اعتراضك لأن هذا التعريف لا يتعرض فى الواقع للضوء إطلاقاً ، وليس هناك إلا شرط واحد يجب أن يتوافر فى تعريف الآنية لكى يكون صحيحاً ألا وهو أنه فى كل حالة واقعية يجب أن يمكننا هذا التعريف من أن نقرر تجريبياً إذا ما كانت الحالة التى نحن بصددها قد تحققت فعلا أم لم تتحقق . وليس هناك مجال للمناقشة فى أن التعريف الذى أقدمه للآنية لاشك يحقق هذا الشرط . فكون الضوء يحتاج إلى نفس الزمن لقطع المسافة من (و) إلى (ب) ليس فى الحقيقة تخيلا أو افتراضاً حول

---

(١) لم ترد هذه العبارة فى الاصل اضفناها للشرح (المترجم)

طبيعة الزمن الفزيائية ولكنه مجرد « تعويض » لى مطلق الحرية فى إجرائه لكى أصل إلى تعريف الآنية .

وواضح أن هذا التعريف يمكن أن يستعمل ليعطى معنى محدداً لا لحادثتين فقط بل ولأى عدد نختاره من الحوادث أيا كانت مواضع مسارح هذه الحوادث بالنسبة إلى مجموعة الإسناد[1] (وهى هنا طريق السكة الحديدية) وهذا يقودنا أيضا إلى تعريف الزمن فى الفزياء . ولهذا دعنا نتصور ساعات متماثلة التركيب وضعت فى النقط ا ، ب ، حو من طريق السكة الحديدية (مجموعة إحداثيات) بحيث تكون عقاربها فى آن واحد بالمعنى السابق فى مواضع متماثلة . وفى هذه الظروف نرى أن زمن أية حادثة هو ما تحدده قراءة موضع عقارب أية ساعة من الساعات التى على مقربة من مكان الحادثة . وبهذه الطريقة نجمع بين كل حادثة يمكن رصدها ومقدار زمنى بصورة أساسية .

وهذا التعويض يحمل فى طياته فرضاً فزيائياً آخر مسلماً به يصعب الشك فى صحته ما لم يثبت تجريبيا أن العكس هو الصحيح ذلك هو افتراضنا أن جميع هذه الساعات تتحرك بمعدل واحد مادامت متشابهة التركيب أو بعبارة أدق إذا ضبطت ساعتان فى حالة سكون وفى مكانين مختلفين من مجموعة إسناد بحيث يكون موضعاً « خاصاً » لعقربى إحدى الساعتين « آنياً » (بالمعنى السابق) مع « نفس » موضع عقربى الساعة الأخرى تكون «القراءات» « المتماثلة » للساعتين آنية دائماً (بمعنى التعريف السابق للآنية) .

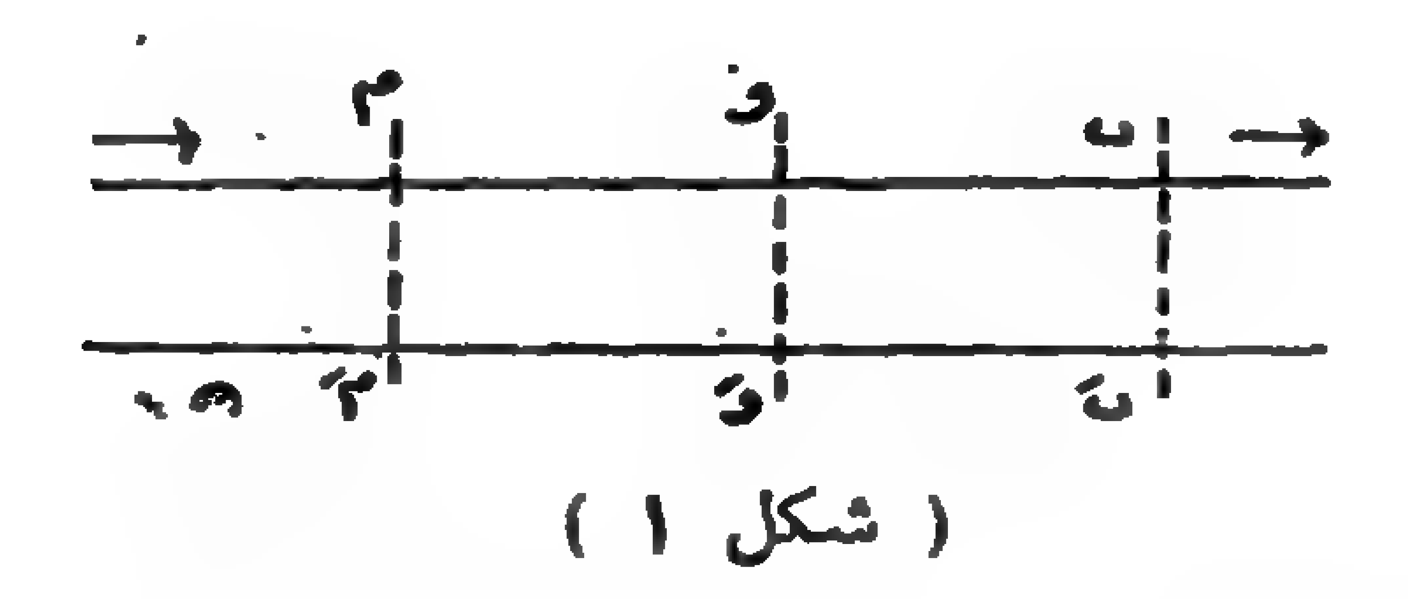
---

(1) ونحن نفرض ابعد من ذلك انه عندما تحدث الحوادث ا ، ب ، جـ فى اماكن مختلفة بحيث تكون ا آنية مع ب ، ب آنية مع جـ « آنية بالمعنى المذكور آنفا » يكون شرط آنية الحادثتين ا ، جـ قد تحقق ايضا . وهذا الزعم فرض فزيائى حول قانون انتشار الضوء ولابد من تحققه اذا كنا نريد الاحتفاظ بقانون ثبوت سرعة الضوء فى الفراغ .

الفصل التاسع

نسبية الآنية

لقد درجنا حتى الآن على اتخاذ طريق السكة الحديدية مجموعة إسناد لنا ولا بأس أن نفرض أن قطاراً طويلا جداً يتحرك على القضبان بسرعة قدرها ع فى الاتجاه الموضح بالشكل (١) سيفضل المسافرون بهذا القطار اتخاذه مجموعة إسناد (مجموعة إحداثيات) وسيسندون كل مايحدث إليه وعلى ذلك فكل حادثة تحدث على طول الطريق تحدث أيضاً عند نقطة



(شكل ١)

خاصة من القطار كذلك . ويمكن أيضاً أن نحدد الآنية بالنسبة إلى القطار بنفس الطريقة التى نحددها بها بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية . ويجابهنا السؤال التالى نتيجة طبيعية لما تقدم :

هل تكون الحادثتان الآنيتان بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية (مثل الصاعقتين ا ، ب) آنيتين أيضا بالنسبة إلى القطار ؟ وسنوضح مباشرة فيما يلى أن الإجابة على هذا السؤال يجب أن تكون بالنفى .

إننا حينما نقول إن الصاعقتين ا ، ب آنيتان بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية نعنى أن أشعة الضوء الصادرة من المكانين ا ، ب حيث تحدث الصاعقتان تتقابل فى النقطة (و) (وهى منتصف المسافة ا ، ب على الطريق)

ويناظر الحادثتان أيضاً على طريق السكة الحديدية الموضعين اَ ، بَ على القطار ولنفرض أن النقطة (وَ) هي نفس نقطة الوسط للمسافه اَ بَ على القطار فإنه عندما يحدث وميض البرق[1] تتفق النقطة (و) مع النقطة (وَ) لكنها كما في الرسم التوضيحي تتحرك إلى اليمين بسرعة قدرها ع هي سرعة القطار فإذا كان هناك راصد يجلس في (وَ) في القطار ولا يتحرك بالسرعة ع فإنه سيظل دائماً في (و) وسيصل إليه شعاعا الضوء الصادران من ا ، ب في نفس الوقت حيث يلتقيان عند مكان جلوسه ولكنه في الواقع (بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية) يندفع في اتجاه شعاع الضوء الآتي من ب بينما يبتعد عن الشعاع الآتي من ا وعلى ذلك سيرى الراصد الشعاع الآتي من ب قبل أن يرى الشعاع الآتي من ا وعلى ذلك نصل إلى النتيجة الهامة التالية :

إن الحوادث الآنية بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية ليست آنية بالنسبة إلى القطار والعكس بالعكس (نسبية الآنية) فلكل مجموعة إسناد (مجموعة إحداثيات) زمنها الخاص . ومالم نعين مجموعة الإسناد التي حددنا بالنسبة لها زمن أية حادثة فليس هناك أي معنى لهذا التحديد .

وقبل ظهور نظرية النسبية كانت الفيزياء تسلم تسليما أعمى بأن الزمن أمر مطلق أي أنه مستقل عن حالة الحركة أو السكون التي عليها مجموعة الاسناد. ولقد رأينا الآن أن هذا الزعم لا يتفق مع تصور الآنية الطبيعي جداً وإذا أسقطناه اختفى التناقض الظاهري بين قانون انتشار الضوء في الفراغ ومبدأ النسبية (كما أوضحنا في الفصل السابع) .

ولقد أوقعتنا الاعتبارات التي استعرضناها في الفصل الثالث (وهي اعتبارات بالية لا يمكن التمسك بها) في هذا التناقض ؛ فقد ذكرنا في ذلك الفصل أن الرجل الذي يقطع وهو في العربة المسافة ف بالنسبه للعربة يقطع

---

(١) كما يظهر من طريق السكة الحديدية .

نفس المسافة فى نفس المدة بالنسبة إلى قضيب السكة الحديدية . وها نحن نرى فى ضوء ماذكر فى الفصل الحالى أن الزمن الذى تستغرقه حادثة ما بالنسبة إلى عربة القطار لا يجوز أن يعتبر مساوياً للزمن الذى تستغرقه نفس الحادثة بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية، وعلى ذلك لا يمكن أن نوافق على أن الرجل حينما يمشى فى العربة ويقطع بالنسبة لها المسافة ف « فى الثانية » يقطع نفس المسافة فى زمن مساو بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية .

وفوق ذلك فإن اعتبارات الفصل السادس تعتمد على زعم آخر يبدو عند التحليل الدقيق حكماً تعسفياً ولو أننا كنا نلجأ إليه ضمنياً بصورة مستمرة حتى قبل مجىء نظرية النسبية .

الفصل العاشر

حول نسبية تصور المسافة

دعنا نتخيل نقطتين معينتين على القطار (مثل منتصف العربة الأولى ومنتصف العربة العشرين) الذى يتحرك على قضيب السكة الحديدية بسرعة ع . ودعنا نبحث عن المسافة التى تفصلهما . إننا نعلم مقدماً أنه يجب علينا أن نحصل على مجموعة إسناد نقيس المسافات بالنسبة إليها ، وأبسط الأمور هو أن نعتبر القطار نفسه مجموعة الإسناد (مجموعة إحداثيات) والمسافر فى القطار يستطيع أن يقيس المسافة باستعمال قضيب القياس فى خط مستقيم (أى بتطبيقه على أرضية العربات العدد الكافى من المرات للوصول من النقطة الأولى إلى الثانية) ويحدد العدد الدال على عدد مرات تطبيق قضيب القياس طول المسافة المطلوبة .

ولكن الأمر يختلف عن ذلك إذا أردنا قياس هذه المسافة بالنسبة إلى طريق السكة الحديدية ويبدو هنا أن الطريقة المثالية لذلك هى : إذا سمينا ا ، ب النقطتين اللتين على القطار الذى يتحرك بالسرعة ع واللتين يراد إيجاد المسافة التى تفصل بينهما فإن هاتين النقطتين تتحركان على طول الطريق بالسرعة ع أيضاً ونحن نحتاج أولا إلى أن نعين النقطتين ا ، ب على طريق السكة الحديدية التى مرت عليهما النقطتان ا ، ب على القطار فى زمن معين ز بالنسبة إلى الطريق . وهاتان النقطتان (اَ ، بَ) على الطريق الحديدى يمكن تحديدهما تبعاً لتعريف الزمن الذى قدمناه فى الفصل الثامن والمسافة بين هاتين النقطتين (اَ ، بَ) يمكن أن تقاس إذاً بتكرار عملية تطبيق قضيب القياس على طول الطريق .

وليس هناك أى سبب أولى لأن نؤكد أن عمليـة القياس الأخيرة تتفق فى النتيجة مع عمليـة القياس الأولى . وهكذا قد يكون طول القطار مقيساً بالنسبة إلى الطريق مختلفاً عن طوله مقيساً بالنسبة إلى القطار نفسه. وهذا الظرف يؤدى بنا إلى إعتراض ثان على آراء الفصل السادس التى تبدو ظاهرياً واضحة ، وهو أنه إذا كان الرجل الذى فى العربة يقطع المسافة ف (مقيسة بالنسبة إلى القطار) فى وحدة الزمن فإن هـذه المسافة (مقيسة بالنسبة إلى الطريق) ليست بالضرورة متساوية مع ف .

الفصل الحادي عشر

تحويل لورنتز

إذا استعرضنا نتائج ثلاثة الفصول الأخيرة نرى أن عدم التوافق الظاهري الذي نجده بين قانون انتشار الضوء ومبدأ النسبية (الفصل السابع) نشأ عن التسليم في الميكانيكا الكلاسيكية بفرضين لم يقم عليهما أي دليل . وهذان الفرضان هما :

١ ــ الفترة الزمانية (الزمن) التي تفصل بين حادثتين مستقلة عن حالة الحركة التي عليها بمجموعة الإسناد التي نرجع إليها .

٢ ــ الفترة المكانية (المسافة) بين نقطتين على جسم جاسيء مستقلة عن حالة الحركة التي عليها بمجموعة الإسناد التي نرجع إليها .

فإذا أسقطنا هذين الفرضين اختفت مشكلة الفصل السابع لأن نظرية محصلة السرعات التي استنتجناها في الفصل السادس تصبح خطأ . وعند ذلك يبدو أن قانون انتشار الضوء في الفراغ قد يكون متفقاً مع مبدأ النسبية. ويصبح المطلوب معرفته هو كيف يجب تعديل الاعتبارات التي أوضحناها في الفصل السادس حتى نزيل التناقض الظاهري بين هاتين النتيجتين التجريبيتين الأساسيتين ؟ وهذا السؤال يقودنا إلى سؤال أعم فقد كان لدينا في الفصل السادس أمكنة وأزمنة مسندة إلى كل من القطار والطريق الحديدي فكيف نجد زمن ومكان حادثة بالنسبة إلى القطار إذا كنا نعرف مكانها وزمانها بالنسبة إلى الطريق الحديدي . . ؟ هل من المستطاع الإجابة

على هذا السؤال بحيث لا يتعارض قانون انتشار الضوء فى الفراغ مع مبدأ النسبية ؟ أو بعبارة أخرى هل من الممكن إيجاد علاقة بين زمان ومكان الحادثة الواحدة بالنسبة إلى كلتا بجموعتى الإسناد بحيث يكون لكل شعاع من أشعة الضوء السرعة حـ بالنسبة إلى القطار والطريق معاً ؟ إن الإجابة على هذا السؤال هى بالإيجاب وهى إجابة محددة جداً يعبر عنها قانون محدد لتحويل المقادير الزمكانية للحادثة الواحدة تبعاً لتغير مجموعة الإسناد التى تسند إليها .

وقبل أن نتعرض لهذا الموضوع دعنا نقدم له بما يلى

لقد وجهنا اهتمامنا حتى الآن إلى الحوادث التى تحدث على الطريق الحديدى والتى اعتبرت رياضياً على خط مستقيم وبالطريقة التى أوضحناها فى الفصل الثانى نستطيع أن نتخيل أن هذا المسند إليه مزود جانبيا ورأسياً بهيكل من قضبان القياس المتعامدة بحيث يمكن تحديد مكان أية حادثة بالنسبة إلى هذا الهيكل . وبالمثل فإننا نستطيع أن نتخيل القطار الذى يتحرك بالسرعة ع مستمراً فى كل الفضاء بحيث يمكن تحديد مكان أية حادثة مهما كانت بعيدة بالنسبة لهذا الهيكل الثانى ، ونستطيع دون أن نرتكب أى خطأ أساسى أن نتجاوز عن تداخل هذه الهياكل باستمرار معاً حيث أن الأجسام الجاسئة لا تتداخل فيما بينها .

وفى كل هيكل من هذه الهياكل نتخيل ثلاثة سطوح متعامدة على بعضها البعض تسمى مستويات إحداثية (مجموعة إحداثيات) وعلى ذلك يمثل الطريق الحديدى بمجموعة الإحداثيات م وأية حادثة أينما تحدث يمكن تحديد مكانها بالنسبة إلى م بوساطة ثلاثة أعمدة س ، ص ، سه على المستويات الإحداثية وبالنسبة للزمن بالقيمة الزمنية ز أما بالنسبة إلى مَ فيحدد مكان نفس الحادثة وزمانها القيم سَ ، صَ ، سهَ ، زَ المقابلة وهى تختلف عن س ، ص ، سه ، ز وقد أوضحنا بالتفصيل فيما تقدم كيف

يجب أن نعتبر هذه المقادير نتائج للقياس الفزيائى .

من الواضح أننا نستطيع أن نضع المشكلة على النحو الآتى : —

ما هى قيم المقادير س َ ، ص َ ، هـ َ ، ز َ لحادثة ما بالنسبة إلى م َ إذا كنا نعلم قيم المقادير س ، ص ، هـ ، ز لنفس الحادثة بالنسبة إلى م . . . ؟ ويجب أن نختـــار العلاقات بين هذه القيم بحيث تحترم قانون انتشـار الضوء فى الفراغ بالنسبة إلى م ، م َ وبالرجوع إلى الوضع الموضح فى (الشكل ٢) لمجموعة الإحداثيات نجد أن حل المشكلة تقدمه المعادلة : —

$$\text{س}' = \frac{\text{س} - \text{ع ز}}{\sqrt{1 - \frac{\text{ع}^2}{\text{حـ}^2}}}$$

$$\text{ص}' = \text{ص}$$

$$\text{هـ}' = \text{هـ}$$

$$\text{ز}' = \frac{\text{ز} - \frac{\text{ع}}{\text{حـ}^2}\,\text{س}}{\sqrt{1 - \frac{\text{ع}^2}{\text{حـ}^2}}}$$

(شكل ٢)

وتعرف هذه المجموعة من المعادلات بتحويل لورنتز ولو جعلنا أساساً لنـا بدلا من قانون انتشار الضوء تلك المزاعم الضمنية التى كانت تركن إليها الميكانيكا قديماً والتى ترتـكز على فكرة الطابع المطلق للأزمنة والأطوال لحصلنا بدلا من المعادلات السابقة على المعادلات التالية :

$$س' = س - ع ز$$

$$ص' = ص$$

$$سه' = سه$$

$$ز' = ز$$

وتسمى غالباً هذه المجموعة الأخيرة من المعادلات بتحويل جاليليو . ويمكننا الحصول على تحويل جاليليو من تحويل لورنتز ، إذا عوضنا عن سرعة الضوء حـ فى التحويل الأخير تحويل لورنتز) بكمية متناهية الكبر .

وفيما يلى تستطيع أن ترى فوراً أن قانون انتشار الضوء فى الفراغ تبعاً لتحويل لورنتز واحد بالنسبة لكل من مجموعة الإسناد م ومجموعة الإسناد م' . ولذلك نرسل إشارة ضوئية على طول المحور الإيجابى س وهذا المؤثر الضوئى يتقدم تبعاً للمعادلة : $س = حـ ز$

أى بسرعة الضوء حـ وتبعاً لمعادلات تحويل لورنتز نرى أن هذه العلاقة البسيطة بين س ، ز تعنى علاقة بين س' ، ز' ونحن فى الواقع إذا عوضنا عن س بالمقدار حـ ز فى المعادلة الأولى والمعادلة الرابعة من معادلات تحويل لورنتز حصلنا على : —

$$س' = \frac{ز(حـ - ع)}{\sqrt{1 - \frac{ع^2}{حـ^2}}} ،$$

$$ز' = \frac{ز\left(1 - \frac{ع}{حـ}\right)}{\sqrt{1 - \frac{ع^2}{حـ^2}}}$$

ومنهما نحصل بالقسمة على المعادلة :

$$س' = حـ ز'$$

وإذا أسندنا إلى المجموعة م' يحدث انتشار الضوء تبعاً لهذه المعادلة . وهكذا نرى أن سرعة انتشار الضوء بالنسبة إلى المجموعة م' تساوى أيضا حـ ونحصل على نفس النتيجة لأشعة الضوء التي تنتشر فى أى اتجاه كان . وطبعا ليس في هذا أى غرابة حيث إن معادلات تحويل لورنتز قد اشتقت وفقاً لهذا الرأى .

الفصل الثانى عشر

سلوك الساعات وقضبان القياس المتحركة

هب أننى أضع قضيباً طوله متر فى اتجاه المحور س َ لمجموعة الإحداثيات م َ بحيث يتفق أحد طرفيه (البداية) مع نقطة الصفر بينما يتفق الطرف الثانى (النهاية) مع النقطة س َ = ١ فما طول هذا القضيب بالنسبة إلى م ؟ وحتى نحصل على ذلك ما علينا إلا أن نبحث أين يقع مبدأ القضيب ونهايته بالنسبة إلى م عند الزمن ز الخاص بالمجموعة م وبوساطة المعادلة الأولى من تحويل لورنتز نجد أن قيمة هاتين النقطتين عند الزمن ز = صفر يمكن إثبات أنها :

$$\text{س (ابتداء القضيب)} = \text{صفر} \sqrt{1 - \frac{ع^2}{ح^2}} = \text{صفر}$$

$$\text{س (نهاية القضيب)} = 1 \sqrt{1 - \frac{ع^2}{ح^2}}$$

وتكون المسافة بين النقطتين هى $\sqrt{1 - \frac{ع^2}{ح^2}}$ ولكن قضيب القياس يتحرك بالسرعة ع بالنسبة إلى م وعلى ذلك نجد أن طول قضيب قياس جامىء طوله متر يتحرك فى اتجاه طوله بسرعة قدرها ع هو $\sqrt{1 - \frac{ع^2}{ح^2}}$ من المتر وهكذا يكون القضيب الجامىء أقصر فى حالة الحركة منه فى حالة السكون ، وكلما زادت سرعة حركته زاد قصره بحيث إذا بلغت السرعة ع = ح يصبح طوله $\left(\sqrt{1 - \frac{ع^2}{ح^2}} \right)$ = صفر وعند السرعات الأكبر

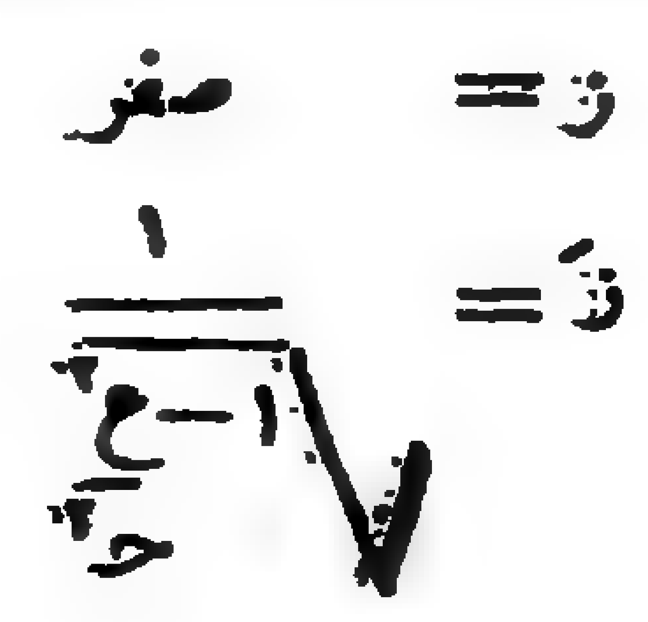
من ح يصبح الجذر التربيعى خيالياً . ومن هذا نستنتج أن السرعة ح فى نظرية النسبية تلعب دور السرعة القصوى التى لا يمكن أن يبلغها أو يزيد عنها أى جسم حقيقى .

وواضح بالطبع أن هذا المظهر للسرعة ح كسرعة قصوى جاء نتيجة لمعادلات تحويل لورنتز لأنها تصبح لامعنى لها إذا اخترنا قيماً للسرعة أكبر من ح وعلى العكس لو أننا تأملنا قضيب قياس طوله متر فى حالة سكون وفى المحور (س) بالنسبة إلى م لوجدنا أن طوله بالنسبة إلى راصد فى مَ سيكون $\sqrt{1 - \frac{ع^2}{ح^2}}$ وهذا متفق تماماً مع مبدأ النسبية وهو أساس تأملاتنا.

وواضح بداهة أن معادلات التحويل تهيء لنا حتما فرصة معرفة الشىء الكثير عن السلوك الفيزيائى لكل من قضبان القياس والساعات لأن المقادير س . ص . ه . ز ليست إلا نتائج قياسات لا أكثر ولا أقل يمكن الحصول عليها عن طريق قضبان القياس والساعات . ولو أننا جعلنا أساساً لتفكيرنا التحويل الجاليلى لما حصلنا على انكماش القضيب نتيجة لحركته .

دعنا الآن نتأمل ساعة موضوعة دائماً عند أصل مَ (س = صفر) ، زَ = صفر ، زَ = ١ هما دقتان متتاليتان لهذه الساعة والمعادلتان الأولى والرابعة من تحويل لورنتز تعطيانا لهاتين الدقتين :

ز = صفر

زَ = 

وكما يبدو من م تتحرك الساعة بالسرعة ع وعلى ذلك تكون فترة الزمن بين الدقتين بالنسبة إلى م ليست ثانية ولكن $\frac{1}{\sqrt{1-\frac{ع^2}{جـ^2}}}$ من الثوانى أى زمناً أكثر قليلا وعلى ذلك تكون الساعة أبطأ فى حالة الحركة منها فى حالة السكون . وهنا أيضاً تلعب السرعة حـ دور السرعة القصوى التى لا يمكن بلوغها .

الفصل الثالث عشر

نظرية محصلة السرعات

تجـــربة فيزو

إننا فى الحياة العملية لا نحرك الساعات وقضبان القياس إلا بسرعات ضئيلة إذا ما قورنت بسرعة الضوء وعلى ذلك لن نستطيع أن نتحقق من نتائج الفصل السابق عملياً . ومع ذلك لا بد أنه قد لفت نظرك غرابة هذه النتائج ولهذا يسرنا أن نستخلص من النظرية تبعاً لما أوضحناه فى الفصل السابق نتيجة قد تم التحقق منها عملياً بصورة شائقة . لقد اشتققنا فى الفصل السادس نظرية محصلة السرعات فى اتجاه واحد على النحو الذى تتبعه الميكانيكا الكلاسيكية ويمكن استنتاج هذه النظرية أيضا من تحويل جاليليو (الفصل الحادى عشر) فبدلا من الرجل الذى يمشى فى عربة القطار نتصور نقطة تتحرك بالنسبة إلى مجموعة الإحداثيات مَ حسب المعادلة :

$$سَ = ع زَ$$

وبوساطة المعادلة الأولى والرابعة من تحويل جاليليو يمكننا التعبير عن سَ ، زَ بدلالة س ، ز عندئذ نحصل على المعادلة س = (ع+غ) ز

وهذه المعادلة لا تعبر عن شىء سوى قانون حركة النقطة بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م (أو الرجل بالنسبة إلى الطريق الحديدية) وسنرمز إلى هذه السرعة بالرمز عـ وحينئذ نحصل كما فى الفصل السادس على .

$$عـ = (ع + غ) \qquad (1)$$

ولكننا نستطيع أن نجرى العملية نفسها على أساس نظرية النسبية عند ذلك يجب علينا أن نعبر عن سَ ، زَ فى المعادلة :

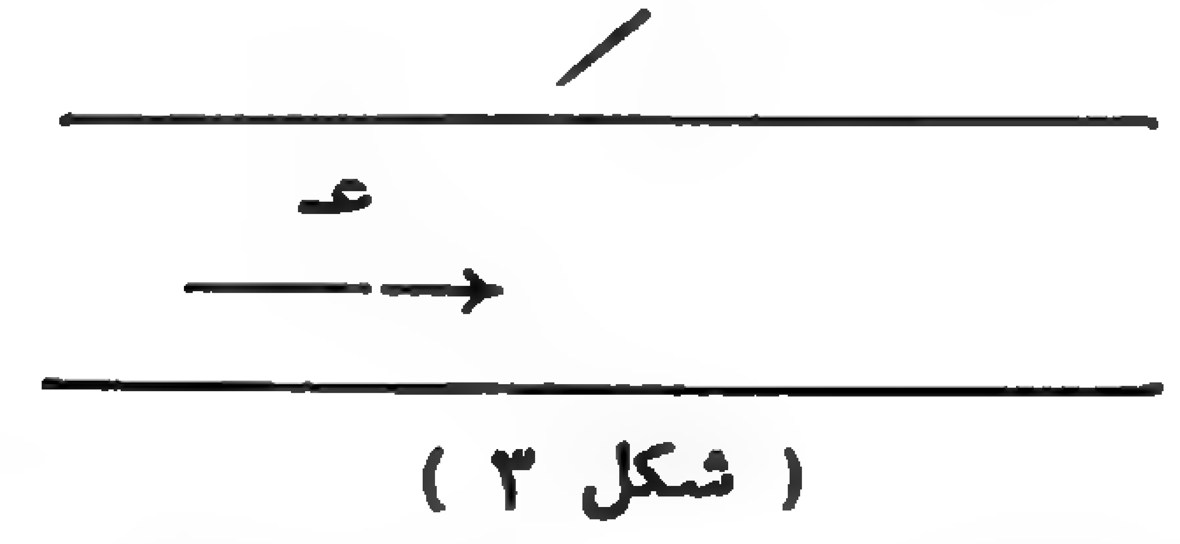
$$س' = غ' ز'$$

بدلالة س ، ز وباستعمال المعادلتين الأولى والرابعة من تحويل لورنتز نحصل بدلا من المعادلة (١) على المعادلة :

$$عـ = \frac{ع + غ}{١ + \frac{ع غ}{ح^{٢}}} \qquad (ب)$$

وهو ما يناظر محصلة السرعات فى اتجاه واحد تبعاً لنظرية النسبية .

والسؤال الذى يجابهنا الآن هو : أى هاتين النظريتين أكثر اتفاقاً مع التجربة . . . ؟ وفى هذا الموقف تسعفنا وتشد أزرنا تجربة على جانب عظيم من الأهمية أجراها الفزيائى القدير فيزو منذ أكثر من نصف قرن وأعاد إجراءها منذ ذلك الحين عدد من أحسن الفزيائيين التجريبيين حتى أصبحت نتيجتها لا يتطرق إليها شك على الإطلاق . والتجربة تدور حول المسألة التالية : إن الضوء ينتقل فى سائل ساكن بالسرعة غ فبأية سرعة ينتقل فى اتجاه السهم فى الأنبوبة (انظر الشكل ٣) إذا كان السائل المذكور عاليه يندفع هو نفسه فى الأنبوبة بالسرعة ع . . . . ؟



(شكل ٣)

سيكون علينا تمشياً مع مبدأ النسبية أن نسلم بأن انتشار الضوء سيحدث دائماً بنفس السرعة غ بالنسبة للسائل سواء أكان هذا السائل يتحرك بالنسبة للأجسام الأخرى أم لا وهكذا تصبح سرعة الضوء بالنسبة إلى السائل معروفة وسرعة السائل بالنسبة إلى الأنبوبة معروفة أيضاً ونريد معرفة سرعة الضوء بالنسبة إلى الأنبوبة .

وواضح أن المشكلة التى أمامنا الآن هى نفس مشكلة الفصل السادس حيث تلعب الأنبوبة دور الطريق الحديدية أو مجموعة الإسناد مَ وأخيراً سنجد أن الضوء يلعب دور الرجل الذى كان يمشى بطول العربة . فإذا رمزنا إلى سرعة الضوء بالنسبة إلى الأنبوبة بالرمز ع فإننا يمكن أن نحصل عليها من المعادلتين ا ، ب الأولى باستعمال تحويل جاليليو والثانية باستعمال تحويل لورنتز فأى الجوابين هو الصحيح ؟ ولقد جاءت التجربة فى جانب المعادلة[1] المشتقة من نظرية النسبية والاتفاق بينهما تام جداً ، وتبعاً لأدق القياسات التى قام بها زيمان تعبر المعادلة عن تأثير سرعة جريان السائل غ على انتقال الضوء إلى تقريب يقرب من ١ ٪ .

ومع ذلك يجب أن لا يفوتنا الآن التنبيه إلى أن نظرية تفسر هذه الظاهرة كان قد سبق أن قدمها هـ . ا . لورنتز قبل مجيء نظرية النسبية بوقت طويل ، ولكن نظريته وكانت ديناميكية كهربية بحتة فى طبيعتها كان قد حصل عليها بالالتجاء إلى فروض أخرى حول البناء الكهرومغناطيسى للمادة . وهذا الوضع مع ذلك لا يقلل أبداً من نتيجة التجربة كاختبار هام يؤيد نظرية النسبية لأن الديناميكا الكهربية التى وضعها ماكسويل لورنتز والتى قامت على أساسها النظرية الأولى لتفسير التجربة لا تتعارض بأى شكل مع نظرية النسبية ، بل إن هذه الأخيرة قد نبعت من الديناميكا الكهربية كنظرية تجمع وتعمم بطريقة مذهلة الافتراضين اللذين بنيت عليهما الديناميكا الكهربية واللذين كانا قبل ذلك مستقلين الواحد عن الآخر .

---

(١) لقد وجد فيزو أن $\text{عـ} = \text{ع} + \text{غ}\left(1 + \frac{1}{\text{ن}^2}\right)$ حيث $\text{ن} = \frac{\text{حـ}}{\text{ع}}$ وهو معامل انكسار السائل ومن الناحية الاخرى بالنسبة الى صغر $\frac{\text{ع غ}}{\text{حـ}^2}$ مقارنة بالواحد الصحيح يمكن ان تستبدل (ب) اولا بالمقدار $\text{عـ} = (\text{ع} + \text{غ})\left(1 - \frac{\text{ع غ}}{\text{حـ}^2}\right)$ او الى نفس درجة التقريب بالمقدار : $\text{ع} + \text{غ}\left(1 + \frac{1}{\text{ن}^2}\right)$ دهى تتفق ونتيجة فيزو .

الفصل الرابع عشر

القيمة الكاشفة للنظرية النسبية

نستطيع أن نلخص سلسلة أفكارنا السابقة فيما يلى : لقد أدت بنا التجربة إلى الاقتناع بأمرين : صدق مبدأ النسبية من ناحية وأن سرعة انتقال الضوء فى الفراغ يجب اعتبارها مقداراً ثابتاً من الناحية الأخرى ، وباتخاذ هذين الفرضين الأساسيين حصلنا على قانون تحويل الإحداثيات المتعامدة س . ص . سه والزمن ز للحوادث — وهى لب جميع العمليات الطبيعية — وفى هذه الحالة لم نحصل على تحويل جاليليو ولكننا حصلنا بخلاف الحال فى الميكانيكا الكلاسيكية على تحويل لورنتز .

ولقد لعب قانون انتشار الضوء وصحته واضحة للعيان دوراً هاماً فى الوصول إلى هذه النتيجة ومادام لدينا تحويل لورنتز فإننا نستطيع أن نجمع بينه وبين مبدأ النسبية لنحصل على النظرية على النحو التالى :

« يجب أن تكون القوانين الطبيعية العامة بحيث لا تتغير إذا استبدلت المتغيرات س . ص . سه . ز المتعلقة بمجموعة الإحداثيات الأصلية م بالمتغيرات سَ . صَ . سهَ . زَ الخاصة بمجموعه الإسناد مَ وفى هذه الحالة يحدد العلاقة بين المتغيرات الأولى والثانية تحويلات لورنتز أو بعبارة أخرى مختصرة يجب أن تكون القوانين الطبيعية متغيرات متعدية بالنسبة إلى تحويلات لورنتز » .

هذا هو الشرط الرياضى المحدد الذى تستوجبه نظرية النسبية فى أى قانون طبيعى . ولذلك أصبح للنظرية أثر كاشف عميق فى البحث عن القوانين الطبيعية العامة. فإذا وجد أن قانوناً عاماً من قوانين الطبيعة لا يحقق هذا الشرط فعلى الأقل لابد أن يكون أحد الفرضين الأساسيين للنظرية خاطئاً . والآن دعنا نرى النتائج العامة التى أدت إليها هذه النظرية .

الفصل الخامس عشر

النتائج العامة للنظرية

اتضح فى سياق ما تقدم أن نظرية النسبية الخاصة قد تبلورت من دراسة الضوء والديناميكا الكهربائية وهى لم تغير النتائج النظرية فى هذين المجالين ولكنها بسطت إلى حد بعيد البناء النظرى — أى اشتقاق القوانين — والأهم من ذلك بمراحل أنها اختصرت إلى حد بعيد عدد الفروض المستقلة التى كانت تستند إليها وتقوم عليها وجهة النظر السابقة . ولقد جعلت نظرية النسبية الخاصة نظرية ماكسويل لورنتز مرضية بشكل جعل علماء الفزياء على استعداد لقبولها ولو لم تكن جميع التجارب قد وقفت فى صفها وأيدتها تأييداً كاملا .

واحتاج الأمر إلى تعديل الميكانيكا الكلاسيكية حتى تتفق مع نظرية النسبية الخاصة . ولم تؤثر هذه التعديلات تأثيراً جوهريا إلا فى القوانين التى تتعلق بالسرعات الكبيرة أى عندما تقترب سرعة الأجسام المتحركة من سرعة الضوء . وليس لدينا مثال لهذه السرعات إلا ما يتعلق بالإلكترونات والأيونات أما بالنسبة للسرعات الأخرى فقد كان الاختلاف بين نتائج قوانين الميكانيكا الكلاسيكية ونتائج نظرية النسبية الخاصة أضأل من أن يظهر عملياً وسوف لا نتعرض لحركة النجوم إلى أن ندرس نظرية النسبية العامة . إن طاقة الحركة لنقطة مادية تتحرك لم يعد يحددها المقدار المعروف

$ك \frac{ع^{2}}{2}$ بل يعبر عنها بالتعبير :

$$\frac{ك\ حـ^{٢}}{\sqrt{١ - \frac{ع^{٢}}{حـ^{٢}}}}$$

وهذا المقدار يقترب من ما لا نهاية كلما اقتربت السرعة ع من سرعة الضوء حـ ، وعلى ذلك يجب أن تظل السرعة دائماً أقل من حـ مهما كبرت العجلة وإذا وضعنا التعبير عن طاقة الحركة على شكل متسلسلة حصلنا على :

$$ك\ حـ^{٢} + ك\ \frac{ع^{٢}}{٢} + \frac{٣}{٨}\ ك\ \frac{ع^{٤}}{حـ^{٢}} + \ldots\ldots$$

عندما يكون الحد $\frac{ع^{٢}}{حـ^{٢}}$ صغيراً مقارناً بالواحد الصحيح فإن الثالث من هذه الحدود يكون دائماً صغيراً مقارناً بالحد الثانى، وهذا الأخير هو الذى يوضع وحده موضع الاعتبار فى الميكانيكا الكلاسيكية . والحد الأول $ك\ حـ^{٢}$ لا يتضمن السرعة وليس هناك محل للنظر إليه الآن إذا كان مايعنينا هو مسألة كيفية اعتماد طاقة النقطة المادية على السرعة وسنتكلم عن المعنى الأساسى لذلك الحد فيما بعد .

وأهم النتائج ذات الطابع العام التى أدت إليها نظرية النسبية الخاصة تتعلق بفكرة الكتلة؛ فقبل مجىء النسبية كانت الفزياء تسلم بقانونى بقاء لهما أهمية أساسية هما قانون بقاء الطاقة وقانون بقاء الكتلة . وكان هذان القانونان يبدوان مستقلين عن بعضهما البعض تماماً . ولكنهما عن طريق نظرية النسبية قد ادمجا فى قانون واحد وسنرى فيما يلى باختصار كيف تم هذا التوحيد وأى معنى يحمله ذلك فى طياته .

إن مبدأ النسبية يتطلب أن يكون قانون بقاء الطاقة صحيحاً لا بالنسبة إلى مجموعة الإحداثيات وحدها بل أيضاً إلى كل مجموعة إحداثيات مَ فى حالة حركة انتقال منتظمة بالنسبة إلى المجموعة م أو باختصار بالنسبة إلى كل

مجموعة إسناد جاليلية . ويتطلب أيضاً وذلك على عكس ما فى الميكانيكا الكلاسيكية أن يكون تحويل لورنتز هو العامل الحاسم فى الانتقال من مجموعة كهذه إلى أخرى .

وبقليل من التأمل البسيط نسبياً نجد أننا نصل إلى النتيجة التالية من هذه المقدمات ، وذلك متفق مع المعادلات الأساسية للديناميكا الكهربية الماكسويل : إذا امتص جسم يتحرك بالسرعة ع مقداراً من الطاقة ن[1] على شكل إشعاع دون أن يحدث نتيجة لذلك أى تغيير فى سرعته فإن طاقته تزيد نتيجة لذلك بالمقدار :

$$\frac{\text{ن}}{\sqrt{1-\frac{\text{ع}^{2}}{\text{ح}^{2}}}}$$

وبتأمل التعبير الذى قدمناه آنفاً لطاقة الحركة للجسم نجد أن طاقة الحركة المطلوبة للجسم تصبح :

$$\frac{\left[\text{ك}+\frac{\text{ن}}{\text{ح}^{2}}\right]\text{ح}^{2}}{\sqrt{1-\frac{\text{ع}^{2}}{\text{ح}^{2}}}}$$

وهكذا تصبح للجسم نفس الطاقة التى لجسم كتلته $\left[\text{ك}+\frac{\text{ن}}{\text{ح}^{2}}\right]$ ويتحرك بالسرعة ع . من هنا يمكن أن نقول : إذا اكتسب جسم قدراً من

---

(1) ن هى الطاقة المستمدة كما تبدو بالنسبة الى مجموعة اسناد تتحرك مع الجسم .

الطاقة ى فإن كتلته القصورية تزيد بالمقدار $\frac{ى}{ح^2}$ وليست كتلة القصور لجسم ما ثابتة بل تتغير تبعـــاً لتغير طاقة الجسم . بل يمكن أن نقول إن كتلة قصور مجموعة من الأجسام يمكن أن تعتبر دليلا على مقدار طاقتها . وعلى ذلك يصبح قانون بقاء كتلة مجموعة ما مطابقا لقانون بقاء الطاقة للمجموعة نفسها . وهو صحيح مادامت المجموعة لا تمتص ولا تشع أية طاقة . وإذا عبرنا عن الطاقة بالتعبير :

$$\frac{ك ح^2 + ى}{\sqrt{1 - \frac{ع^2}{ح^2}}}$$

وجدنا أن الحد ك ح^2 الذى لفت نظرنا من قبل ليس إلا مقدار الطاقة [1] التى يملكها الجسم قبل أن يمتص ى .

وليس من المستطاع حالياً المقارنة المباشرة بالتجربة لهذه العلاقة (كان ذلك صحيحاً سنة ١٩٢٠ ولكن انظر التعليق فى آخر هذا الفصل) بالنسبة لأن تغيرات الطاقة ى التى يمكن أن تعرض لها مجموعة ما ليست كبيرة بالحد الكافى لأن تجعل نفسها محسوسة كتغيير فى كتلة قصور المجموعة حيث إن $\frac{ى}{ح^2}$ مقدار صغير جداً بالمقارنة بالكتلة ك التى كانت موجوده قبل تغير الطاقة، ولهذا السبب استطاعت الميكانيكا الكلاسيكية بنجاح أن تعتبر قانون بقاء الكتله قانوناً صحيحاً مستقلا بذاته .

ودعنى أضيف إلى ما تقـــدم ملاحظة أخيرة أساسية الجوهر . إن النجاح الذى حققته تفسيرات فرداى ـ ماكسويل للتأثير الكهرومغناطيسى عن بعد قـــد جعلت الفزيائيين أكثر اقتناعا بأنه لاوجود لشىء من نوع

(١) كما تبدو لمجموعة احداثيات تتحرك مع الجسم .

« التأثير الفورى عن بعد » (أى الذى لا يتضمن وسطاً بينها). الذى نجده فى قانون الجاذبية لنيوتن . وحسب نظرية النسبية يحل التأثير عن بعد بسرعة الضوء دائما محل التأثير الفورى أو التأثير عن بعد بسرعة انتشار لانهائية وهذا مرتبط بحقيقة أن السرعة حـ تلعب دوراً أساسياً فى النظرية . وفى الجزء الثانى من هـــذا الكتاب سنرى بأى شكل ستتعدل هذه النتيجة فى نظرية النسبية العامة.

تعليق : مع تقدم عمليات التحويل النووية التى تنشأ من قذف العناصر بدقائق ألفا أو البروتونات أو أشعة جاما تأكدت علاقة تكافؤ الكتلة والطاقة حسب المعادلة ى = ل حـ^{2} فمجموع الكتل المتبادلة التأثير مضافا إليه مكافىء الكتلة للطاقة الحركية للدقائق المقذوفة (الفوتون) أكبر دائما من مجموع الكتل الناتجة عن التحويل والفرق بينهما هو الكتلة المكافئة لطاقة الحركة للدقائق المتولدة أو الطاقة الكهرومغناطيسية المشعة (فوتونات جاما) . وبنفس الطريقة نجد أن كتلة الذرة المشعة التى تتحلل فجأة أكبر دائماً من مجموع كتل الذرات الناشئة بمقدار الكتلة المكافئة لطاقة الحركة للدقائق المتولدة (أو الطاقة الفوتونية) وقياسات الطاقه المتولدة عن التفاعلات النووية هى ومعادلات هذه التفاعلات يجعلان من الممكن تقدير الأوزان الذرية بغاية الدقة .

الفصل السادس عشر

نظرية النسبية الخاصة والتجربة

إلى أى مدى تؤيد التجربة نظرية النسبية الخاصة . . . ؟ ليس من السهل الإجابة على هذا السؤال للسبب الذى سبق ذكره عند الكلام عن تجربة فيزو الأساسية . وكلنا نعلم أن نظرية النسبية الخاصة قد تبلورت من نظرية ماكسويل لورنتز عن الظواهر الكهرومغناطيسية ، وتبعاً لذلك فإن كل الحقائق التى تؤيد هذه النظرية الأخيرة تؤيد نظرية النسبية . ولكنى أقتصر هنا على ذكر الحقيقة التالية وحدها نظراً لما لها من الأهمية البالغة .

إن نظرية النسبية تتيح لنا أن نعرف مقدما التأثيرات التى تتناول الضوء الآتى إلينا من النجوم الثابتة . ومن الممكن الوقوف على هذه التأثيرات بطريقة متناهية البساطة . وقد وجد أنها وهى راجعة إلى حركة الأرض بالنسبة لهذه النجوم الثابتة تتفق مع التجربة . ونحن نشير هنا إلى الحركة السنوية للموقع الظاهرى للنجوم الثابتة الناشىء عن دوران الأرض حول الشمس (الزيغ) وإلى تأثير المركبات القطرية لحركات النجوم الثابتة بالنسبة إلى الأرض على لون الضوء الذى يصل إلينا منها ، وهذا التأثير الأخير عبارة عن انتقال طفيف فى خطوط الطيف فى الضوء المرسل من النجوم الثابتة إلينا إذا قورن بوضع نفس هذه الخطوط إذا كان مصدر الضوء على الأرض (ظاهرة دوبلر) ، والبراهين التجريبية التى تؤيد نظرية مكسويل — لورنتز وتؤيد أيضا نظرية النسبية أكثر من أن تحصى هنا . وهى فى الحقيقة تحدد الإمكانيات النظرية بشكل لم تقو على الصمود أمامه غير نظرية ماكسويل لورنتز .

ولكن هناك مجموعتان من الحقائق التجريبية لا يمكن تطبيق نظرية ماكسويل لورنتز عليها إلا إذا أدخلنا على تلك النظرية — وذلك دون أن نلجأ إلى نظرية النسبية — فرضاً يبدو مفتعلا .

فمن المعروف أن أشعة المهبط وكذلك الأشعة المعروفة بأشعة بيتا التى تشعها المواد ذات الإشعاع كليهما تتكون من جسيمات صغيرة مشحونة بشحنة كهربية سالبة (إلكترونات) لها قصور ذاتى صغير جداً وسرعة كبيرة جدا. وإذا درسنا انحراف هذه الإشعاعات تحت تأثير المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية أمكننا أن نعرف بالضبط قانون حركتها .

وتواجهنا عند دراسة هذه الإلكترونات نظرياً فى ضوء نظريـــة الديناميكا الكهربية مشكلة ناشئة عن عجز هذه النظرية نفسها عن تفسير طبيعة الإلكترونات . فلما كانت الكتل الكهربائية المتشابهة النوع تتنافر فيما بينها فإن الكتل الكهربائية السالبة التى تكون الإلكترونات يجب أن تتناثر بفعل تنافرها فيما بينها ما لم تكن واقعة تحت تأثير قوى من نوع آخر لم تتضح لنا حتى الآن[1] . فإذا فرضنا أن المسافات التى تفصل بين الكتل الكهربائية التى تكون الإلكترونات تظل ثابتة أثناء تحركها بالنسبة لبعضها البعض (اتصال جامىء بالمعنى الميكانيكى الكلاسيكى) فإن القانون الذى نصل إليه معبراً عن حركة الإلكترون لا يتفق مع التجربة . ولقد كان لورنتز هو أول من افترض من وجهة نظر شكلية بحتة أن شكل الإلكترون يعانى انكماشا فى إتجاه حركته وأن كمية الانكماش تتناسب مع $\sqrt{1 - \frac{ع^2}{ج^2}}$

وهذا الفرض الذى لا تبرره أى حقائق الديناميكا الكهربية يمدنا بالقانون .

---

(1) توضح نظرية النسبية العامة ان الكتل الكهربائية للالكترونات تتجمع معا تحت تأثير قوى الجذب .

الخاص بحركة الإلكترون وهو القانون الذى حققته التجربة بدقة فائقة أخيراً .

ونظرية النسبية تؤدى إلى نفس قانون الحركة دون حاجة إلى أى افتراض آخر فيما يتعلق ببناء أو سلوك الإلكترون . وقد وصلنا إلى نتيجة مماثلة لهذا فى الفصل الثامن فيما يتعلق بتجربة فيزو التى تنبأت نظرية النسبية بنتيجة مطابقة لها دون حاجة إلى أى افتراض حول طبيعة السائل .

والمجموعة الثانية من الحقائق التى أشرنا إليها تتعلق بمسألة إمكان أو استحالة جعل حركة الأرض فى الفضاء محسوسة بالتجربة على الأرض . لقد لاحظنا فى الفصل الخامس أن كل المحاولات التى أجريت لهذا الغرض كانت نتائجها سلبية . وقبل وضع نظرية النسبية لم يكن مستطاعاً إدراك سبب هذه السلبية لأن الأفكار الخاطئة التى توارثناها عن الزمان والمكان حالت بيننا وبين الشك فى قيمة التحويل الجاليلى فى حالة الانتقال من مجموعة إسناد إلى مجموعة إسناد أخرى . فإذا افترضنا أن معادلات ماكسويل لورنتز صحيحة بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م مثلا وجدنا عند تطبيقها على مجموعة إسناد أخرى مَ تتحرك بحركة منتظمة بالنسبة إلى م أنها غير مطابقة وذلك فى حالة افتراضنا أن علاقات التحويل الجاليلى بين إحداثيات مجموعة الإسناد م و مجموعة الاسناد مَ هى السائدة. وهكذا يبدو أنه من بين كل مجاميع الإسناد الجاليلية هناك مجموعة إسناد واحدة م تقابل حالة خاصة من الحركة تتميز عما عداها من المجموعات بحيث تبدو فريدة فى بابها . وقد فسر بعض العلماء هذا الأمر فزيائياً بأن اعتبروا م فى حالة سكون بالنسبة « لأثير الفضاء » الذى تخيلوه وفرضوا وجوده فرضاً، بينما اعتبروا من الناحية الأخرى كل مجموعات الإحداثيات مَ التى تتحرك بالنسبة إلى م فى حالة حركة بالنسبة لهذا الأثير . وقد نسبت إلى حركة مَ فى الأثير (دفع الأثير بالنسبة إلى مَ) أشد القوانين تعقيداً والتى كان يظن أنها تنطبق على مَ وبالتحديد استلزم

الأمر أن نفترض دفع الأثير هذا قائما بالنسبة للأرض أيضاً . ولمدة طويلة وجه علماء الفزياء جهودهم صوب محاولة الاستدلال على هذا الدفع على سطح الأرض .

وفى إحدى هذه المحاولات ابتكر ميكلسن محاولة تبدو حاسمة إذ تصور مرآتين مثبتتين على جسم جاسىء بحيث يتقابل سطحاهما العاكسان (وجها لوجه) . يستغرق شعاع الضوء زمنا محدداً ليقطع المسافة بينهما ذهابا وإيابا إذا كان الجهاز ثابتا بالنسبة للأثير ولكن إذا كان الجهاز متحركا بالنسبة للأثير فقد وجد بالتقدير الحسابى أن الزمن زَ اللازم للعملية فى هذه الحالة يختلف قليلا عن الزمن ز ، وفوق ذلك فقد أظهر التقدير الحسابى أنه إذا كانت سرعة الجهاز ع بالنسبة للأثير فإن هذا الزمن زَ يختلف فى حالة ما إذا كان اتجاه حركة الجسم عمودياً على مستوى المرآتين عنه فى حالة ما إذا كان اتجاه حركته موازياً لها . وبالرغم من أن الفرق بين هذين الزمنين ضئيل جداً فقد أجرى ميكلسن — مورلى تجربة على أساس التداخل الضوئى يمكن الاستدلال منها على ذلك الفرق . ومع كل جاءت نتيجة التجربة سلبية وكان هذا أمراً محيراً جداً لعلماء الفيزياء . وقد تغلب لورنتز وفتزجرالد على هذا الموقف المتأزم بأن افترضا أن حركة أى جسم بالنسبة للأثير تحدث انكماشاً فى الجسم فى اتجاه الحركة . وأن مقدار هذا الانكماش كاف لأن يعادل ذلك الفرق فى الزمن الذى أشرنا إليه آنفاً . وبمقارنة هذا بما جاء فى الفصل الثانى عشر نرى أنه من وجهة نظر النظرية النسبية كان هذا الحل للمشكلة هو الحل الصحيح ولكنه تم فى نظرية النسبية على أساس أسلم جداً ، فليس فى نظرية النسبية شىء مثل مجموعة الإحداثيات المميزة أو الفريدة التى استوجبت فكرة الأثير . وعلى ذلك فليس هناك دفع فى الأثير وليس هناك داع لأية تجربة للاستدلال عليه . إن انكماش الأجسام

المتحركة يتبع المبدأين الأساسيين للنظرية دون ما حاجة إلى اصطناع أى فروض خاصة. والعامل الأول فى هذا الانكماش ليس هو الحركة فى حد ذاتها فليس لها أى معنى مستقل إنما هو الحركة بالنسبة إلى مجموعة الإسناد التى وقع عليها الاختيار وعلى ذلك فجهاز المرآه لميكلسن — مورلى لا يعانى انكماشاً بالنسبة إلى مجموعة إسناد تتحرك على الأرض ولكنه ينكمش بالنسبة إلى مجموعة إسناد فى حالة سكون بالنسبة إلى الشمس .

الفصل السابع عشر

فضاء منكوفسكى رباعى الأبعاد

إن القراء من غير الرياضيين ينتابهم الفزع والرعب حينما يقرأون عن الأشياء الرباعية الأبعاد ، وهم يحسون عند ذلك إحساساً لايختلف كثيراً عما يحسون به فى مواجهة السحر والسحرة . ومع ذلك فليس هناك قول أعم من أن العالم الذى نعيش فيه متصل زمانى مكانى رباعى الأبعاد .

إن المكان متصل ثلاثى الابعاد ، ونعنى بهذا أننا نستطيع أن نحدد موضع النقطة الساكنة بوساطة ثلاثة أعداد (إحداثيات) س . ص . سه وأن هناك عدداً لانهائياً من النقط المتجاورة يحدد موضع أياً منها الإحداثيات سَ . صَ . سهَ يمكن أن تكون قريبة بأية درجة نختارها إلى الإحداثيات س . ص . سه الخاصة بالنقط الأولى ولهذا السبب نسميها المتصل . ونظراً لأن له إحداثيات ثلاثا فإننا نقول عنه إنه ثلاثى الأبعاد .

وبالمثل فإن دنيا الظواهر الطبيعية ويسميها منكوفسكى باختصار « العالم » طبيعى أن تكون رباعية الأبعاد بالمعنى الزمانى — المكانى لأنها تتكون من حوادث فردية يعين كل منها أربعة أعداد هى بالاسم ثلاثة إحداثيات مكانية س . ص ، سه وإحداثى زمانى ز . والعالم بهذا المعنى متصل لأنه توجد بالنسبة لكل حادثة حوادث مجاورة (واقعية أو على الأقل يمكن تخيلها) لاحصر لها إحداثياتها سَ ، صَ ، سهَ ، زَ . وتختلف بقدر ضئيل جداً عن إحداثيات الحادثة الأولى س ، ص ، سه ، ز أما كوننا لم نتعود على النظر إلى العالم بهذا المعنى على أنه متصل رباعى الأبعاد فذلك

راجع إلى أن الزمان كان يلعب فى الفيزياء قبل نظرية النسبية دوراً مختلفاً أو أكثر استقلالا إذا قورن بإحداثيات المكان، وهذا هو الأصل فى العادة التى جرينا عليها من اعتبار الزمان متصلا مستقلا . وفى الواقع يعتبر الزمن فى نظر الميكانيكا الكلاسيكية مطلقا بمعنى أنه مستقل عن موضع مجموعة الإسناد وحالتها من الحركة . ونرى تعبيراً عن هذا فى المعادلة الأخيرة من التحويل الجاليلى ز = زَ .

والنحو الرباعى الأبعاد فى تصور العالم هو الوضع الطبيعى فى نظرية النسبية حيث تجرد هذه النظرية الزمن من استقلاله . ويظهر هذا فى المعادلة الرابعة

$$زَ = \frac{ز - \frac{ع}{حـ^{٢}} س}{\sqrt{١ - \frac{ع^{٢}}{حـ^{٢}}}}$$

وفوق ذلك فإن الفرق الزمنى △ زَ لحادثتين بالنسبة إلى مَ لا يختفى عادة حتى ولو اختفى الفرق الزمنى △ ز لنفس هاتين الحادثتين بالنسبة إلى م . إن الفاصل المكانى الخالص لحادثتين بالنسبة إلى م ينتج فاصلا زمنياً لنفس الحادثتين بالنسبة إلى مَ . وليس هذا هو أهم اكتشافات منكوفسكى، إذ أن اكتشافه الأهم يكمن فى الحقيقة فى تسليمه بأن المتصل الزمانى — المكانى الرباعى الأبعاد بالنسبة للنظرية النسبية يشبه شبهاً بعيداً فى خواصه الشكلية الأساسية المتصل المكانى الثلاثى الأبعاد للهندسة الإقليدية[1] وما علينا لإظهار هذا الشبه إلا أن نستبدل إحداثى الزمن العادى ز بالكمية الخيالية $\sqrt{-١}$ حـ ز المتناسبة معه . وبهذا تأخذ القوانين الطبيعية التى تطابق نظرية النسبية الخاصة الشكل الرياضى الذى يلعب فيه إحداثى الزمن نفس دور

---

(١) انظر شرح هذه المسألة بتفصيل اكبر فى الملحق الثانى .

إحداثيات المكان الثلاث . وتناظر هذه الإحداثيات الأربع من حيث الشكل إحداثيات الهندسة الإقليدية المكانية الثلاث. ويجب أن يكون واضحاً حتى لغير الرياضيين أنه نتيجة لهذه الإضافة الشكلية البحتة إلى معلوماتنا اكتسبت النظرية بالطبع وضوحاً لاحد له .

إن هذه الملاحظات العابرة يمكن أن تعطى القارىء صورة ما عن الفكرة الهامة التى ساهم بها منكوفسكى والتى بدونها لما استطاعت النظرية النسبيه العامة — وسندرس أسسها فيما يلى من الكتاب — أن توسع مجالها وأن يتسع تطبيقها إلى هذا الحد الشامل . لاشك أن أبحاث منكوفسكى صعبة المنال على غير الرياضيين ولكنه لما كان يكفى لفهم الأفكار الأساسية لنظرية النسبية الخاصة والعامة إلماما خفيفاً بهذه الأبحاث فإنى سأتركها الآن على أن لا أعود إليها إلا عند نهاية الجزء الثانى من هذا الكتاب .

الجزء الثاني

نظرية النسبية العامة

الفصل الثامن عشر

نظريتا النسبية الخاصة والعامة

لقد كان المبدأ الأساسى الذى دارت حوله كل الدراسات السابقة هو مبدأ النسبية الخاصة أى مبدأ النسبية الفزيائية لكل حركة منتظمة . والآن دعنا مرة أخرى نحلل معناه بعناية ودقة .

لقد كان واضحاً فى جميع الأزمان أنه لا مندوحة — من حيث وجهة النظر التى تنقلها لنا — من اعتبار الحركة (كل حركة) حركة نسبية فقط . فإذا عدنا إلى المثل الإيضاحى الذى لجأنا إليه كثيراً — مثل الطريق الحديدى وعربة القطار — فإننا نستطيع أن نعبر عن حقيقة الحركة التى تحدث هنا بالشكلين التاليين :

(١) العربة فى حالة حركة بالنسبة إلى الطريق الحديدى .
(ب) الطريق الحديدى فى حالة حركة بالنسبة إلى العربة .

ويقوم فى (١) الطريق الحديدى وفى (ب) عربة القطار مقام مجموعة الإسناد عند تقديرنا لحالة الحركة لحادثة ما ، فإذا كان الأمر ببساطة هو الكشف عن الحركة أو وصفها فلا أهمية من حيث المبدأ إلى أى مجموعة إسناد نستند فهذا أمر كما سبق أن بينا واضح بنفسه للعيان ولكنه لا يجب الخلط بينه وبين النص الأكثر تعميما وشمولا والذى يسمى مبدأ النسبية الذى اتخذناه أساساً لأبحاثنا .

إن مبدأ النسبية لا ينص فحسب على أننا نستطيع أن نختار على السواء

العربة أو الطريق كجموعة إسناد لوصف أية حادثة (فهذا أيضاً واضح بنفسه للعيان) بل إنه فوق ذلك يؤكد على الأخص ما يلي : أننا إذا صغنا القوانين الطبيعية العامة كما نحصل عليها بالتجربة باستعمال :

(أ) الطريق كجموعة إسناد .

(ب) عربة القطار كجموعة إسناد .

فإن هذه القوانين العامة (أى قوانين الميكانيكا وقانون انتشار الضوء فى الفراغ) يكون لها نفس الشكل فى كلتا الحالتين . ويمكن التعبير عن هذا على النحو التالى أيضاً : ليس لأى من مجموعتى الإسناد م ، مَ من حيث الملاءمة للوصف الفزيائى للعمليات الطبيعية وضع فريد (أو حرفياً ليس لأى منهما ميزة خاصة) بالمقارنة بالمجموعة الأخرى . وعلى خلاف النص الأول فإن هذا النص الأخير ليس بالضرورة صحيحاً بداهة حيث إنه ليس مشمولا فى تصورى الحركة أو مجموعة الإسناد أو قابلا للاشتقاق منهما . بل إن التجربة وحدها هى التى يمكن أن تقرر صحته أو بطلانه .

ومع ذلك فإننا حتى الآن لم ندع أبداً تكافؤ جميع مجموعات الإسناد م لصياغة القوانين الطبيعية . فلقد كان كل ما ذهبنا إليه أقرب إلى ما يلى :

فى أول الأمر ابتدأنا بفرض أن هناك مجموعة إسناد م حالتها من الحركة تجعل القانون الجاليلى التالى صحيحاً بالنسبة لها : إذا عزلت إحدى الجسيمات المادية عزلا كافياً عن بقية الجسيمات وتركت وشأنها فإنها تتحرك بحركة منتظمة فى خط مستقيم . فكانت القوانين الطبيعية كأبسط ما يكون بالنسبة إلى م (مجموعة إسناد جاليلية) ولكن بالإضافة إلى م وجدنا أنه ينبغى أن نعطى كل مجموعات الإسناد نفس الأفضلية فى هذا المعنى ؛ ولذلك يجب أن تكون هذه المجموعات مكافئة للمجموعة م من حيث الملاءمة لصياغة القوانين الطبيعية طالما كانت هذه المجموعات فى حالة حركة منتظمة فى خط مستقيم بالنسبة إلى م وليست فى حركة دوران . وعلى ذلك تعتبر

كل مجموعات الإسناد هذه مجموعات إسناد جاليلية . ولذلك كانت صحة مبدأ النسبية مفروضة بالنسبة لهذه المجموعات لا لغيرها (أى لتلك التى تتحرك بحركة مختلفة النوع) إن هذا هو المعنى الذى نقصده عندما نتكلم عن مبدأ النسبية الخاصة أو نظرية النسبية الخاصة .

أما الآن فعلى العكس من هذا نود أن نعطى « مبدأ النسبية العامة » النص التالى : « كل مجموعات الإسناد م و مَ . . . إلخ متكافئة من حيث ملاءمتها لوصف الظواهر الطبيعية (صياغة القوانين الطبيعية العامة) مهما كانت حالتها من الحركة » ولكن قبل أن نمضى إلى أبعد من هذا يجدر بى أن أشير إلى أن هذه الصيغة هى الأخرى مؤقتة أيضاً وسيصبح من الواجب استبدالها فيما بعد بأخرى أكثر إطلاقا وشمولا لأسباب ستتضح فى حينها .

ومنذ أن وضح أن مبدأ النسبية الخاصة له ما يبرره كان طبيعياً جداً أن يحس كل راغب فى فهم أوسع وأعم ميلا فى قرارة نفسه إلى التقدم قدماً نحو مبدأ النسبية العامة . ولكن اعتباراً بسيطاً له وزنه يوحى – على الأقل فى وضعنا الحالى – بأن الأمل فى نجاح هذه المحاولة ضعيف جداً تعترضه صعاب هائلة لا بد من التغلب عليها أولا . والآن دعنا نتخيل أننا قد انتقلنا إلى عربة القطار التى تسير بسرعة منتظمة . إن المسافر فيها لا يشعر بحركتها طالما هى تتحرك بانتظام ولهذا السبب يستطيع دون غضاضة أن يفسر الأمر على اعتبار أن العربة ساكنة والطريق هو الذى يتحرك . وفوق ذلك فإننا نجد أن هذا التفسير تبعاً لمبدأ النسبية الخاصة صحيح أيضاً من وجهة النظر الفزيائية .

ولكن إذا تغيرت الآن حركة العربة إلى حركة غير منتظمة بسبب « فرملة » شديدة مثلا فإن المسافر سيشعر فوراً مقابل ذلك بدفعة قوية إلى الأمام ، وسيترتب على انحباس هذه الحركة آثار أخرى تتناول الأجسام

التى فى العربة عما سوف يشاهده المسافر فيها . وسوف يختلف ما يحدث فى هذه الحالة عما حدث فى الحالة التى تأملناها أولا ؛ ولهذا السبب يبـدو أنه من المستحيل أن تكون القوانين الميـكانيكية السائدة بالنسبة إلى العربة التى تتحرك بحركة منتظمة أو الساكنة هى نفس القوانين التى تنطبق فى حالة العربة التى تتحرك بحركة غير منتظمة . وعلى أية حال فإنه واضح جداً أن القوانين الجاليلية لا تنطبق على العربة التى تتحرك بحركة غير منتظمة . ومن أجل هذا نشعر أننـا مضطرون فى الوضع الحالى إلى أن نضفى نوعاً من الحقيقة الفزيائية المطلقة على الحركة غير المنتظمة مما لا يتفق مع مبدأ النسبية العامة . ولـكننا سنرى سريعا أن هذا الرأى الشطط لا يمـكن أن يفرض علينا طويلا إذ سنجد لنا منه مخرجا سهلا .

الفصل التاسع عشر

مجال الجاذبية

إذا التقطت حجراً ثم تركته وشأنه فلماذا يسقط على الأرض . . . ؟

إن الإجابة المعتادة على هذا السؤال هى أن الأرض تجذب الحجر . والفيزياء الحديثة تجيب إجابة مختلفة للأسباب الآتية : لقد أدت الدراسة المفصلة للظواهر الكهرومغناطيسية إلى اعتبار أن التأثير عن بعد — دون تدخل وسط مابين الطرفين — عملية مستحيلة ، فإذا جذب مغناطيس قطعة من الحديد مثلا فإننا لانكتفى بأن نعتبر أن معنى هذا هو أن المغناطيس يؤثر مباشرة على الحديد خلال الفضاء الفارغ . ولكننا نضطر إلى أن نتخيل مع فرداى أن المغناطيس يخلق حوله شيئاً فيزيائياً حقيقياً ـ هو المجال المغناطيسى يؤثر بدوره على قطعة الحديد بحيث يدفعها إلى الحركة نحو المغناطيس . ولن نناقش هنا مبررات هذه الفكرة العارضة ، وهى فى الحقيقة فكرة لاتخلو من التعسف بوجه ما ، ولكننا نكتفى بأن نقول إنه باستخدام هذه الفكرة (فكرة المجال) أمكن تفسير الظواهر الكهرومغناطيسية بطريقة أفضل بكثير مما لو استبعدناها خصوصاً فيما يتعلق بانتشار الأمواج الكهرومغناطيسية . وآثار الجاذبية أيضاً تعامل بنفس الطريقة .

إن تأثير الأرض على الحجر يحدث بطريقة غير مباشرة . فالأرض تخلق حولها مجالا جاذبيا يؤثر على الحجر مسبباً سقوطه . وتعلمنا التجربة أن شدة التأثير على جسم ما تتناقص كلما ابتعد هذا الجسم عن الأرض ، وذلك تبعا لقانون محدد . وهذا يعنى من وجهة نظرنا أن القانون الذى يحكم خواص

مجال الجاذبية فى الفضاء لابد أن يكون قانونا تام التحديد حتى يتحدد بالضبط تناقص الأثر الجاذبى تبعاً لبعد الأجسام المؤثرة . وهذا القانون قريب مما يلى : «إن الجسم (أى الأرض) يولد حوله فيما يجاوره مباشرة مجالا ويحدد شدة واتجاه هذا المجال فى النقط البعيدة عن الجسم « القانون الذى يحدد خواص المجالات نفسها فى الفضاء » .

وعلى العكس من المجالات المغناطيسية والكهربائية نجد أن مجالات الجاذبية تنفرد بميزة خاصة على جانب أساسى من الأهمية . « ذلك أن الأجسام التى تتحرك تحت تأثير مجال الجاذبية فقط تتحرك بعجلة لا تعتمد أبداً على الحالة المادية ولا الفيزيائية للجسم » . مثال ذلك أن قطعة الرصاص وقطعة الخشب تسقطان بنفس الكيفية تحت تأثير مجال الجاذبية فى الفراغ سواء بدأ سقوطها من حالة السكون أو ابتدآه بسرعة واحدة . ويمكن التعبير عن هذا القانون الدقيق بطريقة أخرى تبعا لما يلى : إننا وفقاً لقانون نيوتن للحركة نجد أن : القوة = (كتلة القصور الذاتى) × العجلة حيث تكون كتلة القصور ثابتاً مميزاً للجسم المعجل . فإذا أصبحت الآن الجاذبية سبب العجلة نجد أن :

القوة = كتلة الجاذبية × شدة المجال الجاذبى .

حيث كتلة الجاذبية ثابت مميز للجسم . ومن هاتين المعادلتين نجد أن

$$\text{العجلة} = \frac{\text{كتلة الجاذبية}}{\text{كتلة القصور الذاتى}} \times \text{شدة مجال الجاذبية}$$

فإذا كانت العجلة مستقلة عن طبيعة الجسم وحالته من السكون أو الحركة كما هو ثابت بالتجربة، فعلى ذلك لابد أن تكون هذه العجلة واحدة بالنسبة إلى كل الأجسام . وإذا اخترنا الوحدات المناسبة أمكن أن نجعل هذه النسبة مساوية للوحـــدة . وبذلك نحصل على القانون : « كتلة الجاذبية لجسم ما مساوية لكتلة القصور الذاتى للجسم نفسه »

صحيح أن هذا القانون الهام كان معروفاً من قبل فى الميكانيكا ولكن أحداً لم يفسره وقت ذاك، ولايمكن الوصول إلى تفسير مرض له مالم نسلم بالحقيقية التالية : « إن خاصيتى القصور الذاتى والوزن لجسم ما (حرفيا الثقل) هما فى الحقيقة شىء واحد يبدو مرة بهذا الشكل والأخرى بالشكل الآخر حسب الظروف . وسنرى فى الفصل التالى لأى مدى يتفق هذا مع الواقع وسنرى كيف ترتبط هذه المسألة بفرض النسبية العامة .

الفصل العشرون

تساوى كتلتى القصور والجاذبية

كحجة فى صف المبدأ العام للنسبية

دعنا نتخيل حيزاً فارغا قصياً ومنعزلا عن النجوم وعن كل الكتل الأخرى ذات الحجم الذى يعتد به بحيث يتوافر لنا تقريباً فى هذا الحيز كل الشروط التى يتطلبها قانون جاليليو الأساسى . وعند ذلك سيكون ممكنا أن نختار مجموعة إسناد جاليلية لهذا الحيز (الجزء من العالم) ، وبالنسبة إلى هذه المجموعة ستستمر كل النقط الساكنة فى سكونها والنقط المتحركة كذلك ستستمر تتحرك فى حركة منتظمة فى خط مستقيم . دعنا نتخيل هذه المجموعة على هيئة قفص فسيح يشبه حجرة وبداخله راصد مزود بما يحتاج إليه من الأجهزة ، وطبعاً لا وجود للجاذبية بالنسبة إلى هذا الراصد بل إنه يجب عليه أن يربط نفسه بالحبال بأرضية القفص ، وإلا فإن أقل دفع على هذه الأرضية سيجعله يصعد ببطء نحو سقف القفص .

وقد ثبتنا وسط غطاء القفص من الخارج خطافاً مربوطاً به حبل . هب الآن أن كائناً (لا يعنينا هنا نوع هذا الكائن) بدأ يشد القفص من الحبل بقوة ثابتة عند ذلك سيبدأ القفص والراصد الذى فيه فى الصعود إلى أعلى بحركة منتظمة العجلة ومع الزمن ستصل سرعتها إلى قدر لم يسمع به من قبل ما دمنا نرصد كل هذا من مجموعة إسناد أخرى لا تتأثر بأى دفع .

ولكننا نريد الآن أن نرى كيف ينظر الرجل الذى فى القفص إلى هذه العملية . إن عجلة القفص ستنتقل إلى الرجل عن طريق رد فعل أرضية القفص وينبغى عليه اذاً أن يتحمل هذا الضغط على قدميه إذا كان لا يريد أن يرتمى بكامل قامته على أرضية القفص . إنه يقف فى القفص ، بنفس الطريقة التى يقف بها أى إنسان فى حجرة من حجرات منزل على الأرض . وإذا ترك هذا الرجل جسماً كان فى يده من قبل وشأنه عندئذ سيتوقف انتقال العجلة إلى هذا الجسم وسيسقط نحو الأرضية بحركة نسبية ذات عجلة وسيقنع الراصد نفسه بعد ذلك « أن مقدار سقوط الجسم نحو أرضية القفص سيظل ثابتاً (مقداراً واحداً دائماً) مهما كان نوع الجسم الذى يستخدمه فى التجربة .

واستناداً إلى ما يعلمه الرجل جيد العلم عن المجال الجاذبى (وهو ماقد وضحناه فى الفصل السابق) سيصل سريعا إلى هذه النتيجة : —

« إنه والقفص واقعان فى مجال جاذبى ثابت على مر الزمن » وبديهى أنه سيتعجب لحظة لماذا لا يسقط القفص فى هذا المجال الجاذبى ولكنه سيكتشف فوراً الخطاف الذى يتوسط غطاء القفص والحبل المربوط به وسيصل تبعاً لذلك إلى أن القفص معلق فى حالة سكون فى المجال الجاذبى.

هل يجدر بنا أن نسخر من الرجل وأن نقول إنه يخطىء الظن وإن تصوره للموقف باطل .. ؟ لست أعتقد أنه يجوز لنا ذلك إذا كنا نريد أن نكون منصفين، بل ينبغى علينا أن نسلم بأنه سلك فى فهم الموقف سلوكاً لا يتعارض مع العقل أو القوانين الميكانيكية المعروفة . فعلى الرغم من أن القفص يتحرك بعجلة بالنسبة للحيز الجاليلى الذى فرضناه أولا فإننا نستطيع مع ذلك اعتبار القفص ساكناً وهكذا يصبح لدينا أسباب قوية لتوسيع مدى مبدأ النسبية حتى يشمل مجموعات الإسناد التى تتحرك بعجلة

بالنسبة لبعضها البعض . ونكون قد كسبنا حجـــة قوية فى جانب مبدأ النسبية العامة .

يجب أن نلاحظ بعناية أن هـذا النحو من التفسير ليس ممكناً إلا ارتكازاً على الصفة الأساسية للمجال الجاذبى ، من حيث إنه يعطى جميع الأجسام نفس العجلة أو (وهو نفس الشىء) على قانون تساوى الكتلة القصورية والكتلة الجاذبية فلو لم يكن هذا القانون الطبيعى قائما لما استطاع الرجل الذى فى القفص تفسير سلوك الأجسام حوله بفرض مجال جاذبى . ولمـا كان له أى عذر ـــ اعتماداً على التجربة ـــ فى أن يفرض أن مجموعة إسناده ساكنة .

ولنفرض الآن أن الرجل ثبت حبلا من أحد طرفيه فى الناحية الداخلية من غطاء الصندوق وربط فى الطرف الآخر من الحبل جسماً ما ، سيترتب على ذلك أن يشد الحبل متوتراً بحيث يكون معلقا رأسيا إلى أسفل ، وإذا سألناه عن سبب توتر الحبل أجابنـا بأن الجسم المعلق يؤثر بقوة تتجه إلى أسفل فى المجال الجاذبى وهذه القوة تتعادل مع توتر الحبل ومقدار هذا التوتر تحدده كتلة الجاذبية للجسم المعلق فى الحبل ، ومن الناحية الأخرى سيفسر راصد ينطلق بحرية فى الفضاء هذا الوضع على النحو التالى : ـــ

« إن الحبل يشترك حتماً فى الحركة ذات العجلة التى يتحرك بهـا القفص وهو يوصل هذه الحركة إلى الجسم المعلق بطرفه ، وتوتر الحبل يكون بالقدر الذى يكفى لتعجيل الجسم ، والذى يحدد مقدار هذا التوتر هو كتلة الجسم القصورية . وفى ضوء هذا المثل نرى أن توسيعنـا لمدى مبدأ النسبية تتبعه « حتمية » قانون تساوى الكتلة القصورية مع الكتلة الجاذبية ، وبهذا الشكل نكون قد حصلنا على تفسير فيزيائى لذلك القانون » .

ونحن نرى من مثل القفص الذى يتحرك بحركة ذات عجلة أن

نظرية عامة للنسبية لا بد أن يكون لها تأثير بالغ على قوانين الجاذبية ، ولقد أمدنا الاستقصاء المنظم للفكرة العامة للنسبية بالقوانين التى يحققها المجال الجاذبى، ولكنى حريص جداً قبل التقدم إلى أبعد من هذا على أن أحذر القارىء من سوء فهم قد يوحى به هذا المثل . إن مجالا جاذبياً قد وجد بالنسبة إلى الرجل الذى فى القفص على الرغم من أنه لم يكن فى الواقع هناك مثل هذا المجال بالنسبة إلى مجموعة الإسناد التى اخترناها فى أول الأمر ولذلك قد نتوهم أن وجود المجال الجاذبى ليس إلا أمراً صوريا على الدوام ، وربما تخيلنا أيضاً أنه بصرف النظر عن نوع المجال الجاذبى الذى قد يكون موجوداً فإننا نستطيع دائماً اختيار مجموعة إسناد أخرى بحيث لا يوجد بالنسبة لها مجال جاذبى . وليس هذا بأى حال من الأحوال حقيقياً بالنسبة لكل المجالات الجاذبية وإنما فقط بالنسبة لشكل خاص جداً منها . فمن المستحيل مثلا أن نختار مجموعة إسناد بحيث يتلاشى المجال الجاذبى للأرض (بكليتها) بالنسبة لهذه المجموعة .

ونستطيع الآن أن نزن بميزان دقيق لماذا كانت الحجة التى قدمناها ضد مبدأ النسبية العامة فى الفصل الثامن عشر واهية غير مقنعة ، ولا شك أن الراصد فى القطار يعانى حقاً اندفاعا إلى الأمام نتيجة لاستعمال فرامل القطار وهو يستدل من هذا على عدم انتظام حركة العربة (التعويق) ولكن أحداً لا يضطره أن يسند هذا الاندفاع إلى عجلة حقيقية (التعويق للعربة) فإنه يستطيع لو شاء أن يفسر ما حدث على هذا النحو : إن مجموعة الإسناد (العربة) تظل دائماً ساكنة ومع ذلك يوجد بالنسبة لها (أثناء فترة استعمال الفرامل) مجال جاذبى موجه إلى الأمام ، يتغير بمرور الزمن ، وتحت تأثير هذا المجال يتحرك الطريق والأرض بحركة غير منتظمة على نحو يجعل سرعتهما الأصلية فى الاتجاه إلى الخلف تتناقص باستمرار .

الفصل الحادي والعشرون

ماهي أوجه النقص في أسس الميكانيكا الكلاسيكية

ونظرية النسبية الخاصة ...؟

ذكرنا مراراً في سياق ماتقدم أن الميكانيكا الكلاسيكية تبدأ من هذا القانون : « إن الجسيمات المادية المعزولة عن بعضها البعض عزلا كافياً تستمر إما على الحركة المنتظمة في خط مستقيم وإما على السكون » .

ولقد أكدنا مراراً أن هذا القانون الأساسي لايمكن أن يكون صحيحاً إلا بالنسبة إلى مجموعات الإسناد (م) ذات حالات فريدة معينة من الحركة والتي في حالة حركة انتقال منتظمة بالنسبة لبعضها البعض، أما بالنسبة إلى مجموعات الإسناد الأخرى (م) فإنه غير صحيح . وعلى ذلك فإننا نفرق في كل من الميكانيكا الكلاسيكية ونظرية النسبية الخاصة بين مجموعات الإسناد (م) التي يمكن أن يقال إن قوانين الطبيعة المعروفة تنطبق عليها وبين مجموعات الإسناد (م) التي لا تنطبق عليها هذه القوانين .

ولكن هذا الوضع لايتفق وسلامة المنطق . إننا سرعان ماتتساءل كيف يكون لبعض مجموعات الإسناد (أو حالاتها من الحركة) أفضلية على بقية المجموعات (أو حالاتها من الحركة) ... ؟ ولماذا كان هذا التفضيل ..؟ ولكي أوضح جيداً معنى هذا السؤال دعني أضرب لك مثلا :

هب أنني أقف أمام موقد غازي على جانبيه قدران متشابهان لا تميز العين بينهما ، وكلاهما ملء حتى منتصفه بالماء وأني أشاهد البخار يتصاعد

باستمرار من أحدهما دون الآخر لاشك فى أن ذلك سيكون مدعاة للعجب حتى ولو لم أكن قد رأيت موقداً غازياً وقدراً من قبل ، ولكن لو أنى لاحظت وجود شيء مضيء أزرق اللون تحت القدر الأول دون الآخر لما كان هناك داع للاستغراب حتى ولو لم أكن قد رأيت شعلة غاز من قبل لأننى سوف أستطيع أن أقول إن هذا الشيء الأزرق هو السبب فى تصاعد البخار أو على الأقل يحتمل ذلك . وكان حريا بى أن أظل حائراً لو لم أكتشف هذا الشيء الأزرق اللون تحت أحد القدرين إذا كان سيتعين علىّ عندئذ أن أحاول اكتشاف ظرف آخر أسند إليه تصاعد البخار من أحد القدرين دون الآخر .

وبالمثل فإننا نسعى إلى اكتشاف شيء حقيقى فى الميكانيكا الكلاسيكية (أو فى نظرية النسبية الخاصة) نسند إليه اختلاف سلوك الأجسام بالنسبة إلى مجموعات الإسناد مَ عن سلوكها بالنسبة إلى مجموعات الإسناد م . لقد أدرك نيوتن هذا النقص وحاول التغلب عليه ولكنه فشل فى ذلك . ولكن ماك أدركه إدراكاً أوضح من الجميع ولهذا طالب بإلحاح بأن توضع الميكانيكا على أسس جديدة ولايمكن تلافى هذا النقص إلا فى فيزياء تتفق ومبدأ النسبية العامة فمعادلات نظرية النسبية تنطبق على جميع مجموعات الإسناد أياً كانت حالتها من الحركة .

الفصل الثانى والعشرون

استنتاجات قليلة من مبدأ النسبية العامة

لقد رأينا فى الفصل العشرين كيف أن مبدأ النسبية العامة يضعنا فى موقف نستطيع معه أن نشتق صفات المجال الجاذبى بطريقة نظرية محضة. ولنفرض مثلا أننا نعرف كيفية حدوث عملية طبيعية ما، زماناً ومكاناً فى حيز جاليلى بالنسبة إلى مجموعة إسناد جاليلية م. إننا نستطيع بطريقة نظرية محضة (أى بمجرد الحساب) أن نحدد كيف تبدو نفس هذه العملية الطبيعية بالنسبة إلى مجموعة الإسناد مَ التى تتحرك بعجلة بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م. وحيث إنه يوجد بالنسبة لهذه المجموعة الجديدة مَ مجال جاذبى فإننا نستطيع أيضاً على ذلك أن نحدد أثر هذا المجال على العملية موضوع الدراسة.

هب أننا نعلم أن جسماً يتحرك بحركة منتظمة فى خط مستقيم بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م (تبعاً لقانون جاليليو) فإنه يتحرك بعجلة فى خط منحن بالنسبة إلى مجموعة الإسناد مَ التى تتحرك بعجلة (القفص) وهذه العجلة أو الانحناء تقابل تأثير المجال الجاذبى فى مَ على الجسم المتحرك ومن المعروف أن مجال الجذب يؤثر على حركة الأجسام بهذا الشكل وعلى ذلك تكون هذه الأفكار لا جديد فيها.

ولكننا إذا طبقنا مثل هذه الأفكار على شعاع الضوء حصلنا على نتائج جديدة على قدر أساسى من الأهمية فمثل هذا الشعاع ينتقل بالنسبة إلى مجموعة الإسناد الجاليلية م بالسرعة حـ فى خط مستقيم ومن السهل أن نرى

أن مسار نفس الشعاع لا يصبح خطاً مستقيماً بالنسبة إلى مجموعة الإسناد مَ التي تتحرك بعجلة . ومن هذا نستخلص الآتي : « تنتشر أشعة الضوء بوجه عام في خطوط منحنية في المجال الجاذبي » . ولهذه النتيجة وجهان على جانب كبير من الأهمية :

أولا : أنه يمكن التحقق منها عملياً على الرغم من أن الدراسة النظرية التفصيلية أظهرت أن انحناء الضوء الذي تستوجبه أو تكشف عنه نظرية النسبية ضئيل جداً بالنسبة إلى مجالات الجاذبية التي في متناول أيدينا عملياً . ولكن مقداره بالنسبة للشعاع الذي يمر ملامساً للشمس يبلغ ١,٧ ثانية من القوس وهذا يمكن الاستدلال عليه بالطريقة التالية : بعض النجوم الثابتة تبدو لمن يرصدها من فوق الأرض في مجاورة الشمس ، وعلى ذلك يمكن رصدها في أثناء الكسوف الكلي للشمس وفي مثل هذه الفترات يجب أن تبدو هذه النجوم كأنها بعدت عن الشمس بالقدر السابق ذكره بالمقارنة مع موضعها الظاهري حينما تكون الشمس في مكان آخر من السماء، والتحقق من صحة أو خطأ هذا الاستنتاج مسألة على جانب كبير من الأهمية وحلها العاجل منوط بالفلكيين[1] .

ثانياً : تثبت هذه النتيجة أنه تبعاً للنظرية العامة للنسبية لا يمكن أن تكون صحة قانون ثبوت سرعة انتشار الضوء في الفراغ (وهو أحد الفرضين الأساسيين في نظرية النسبية الخاصة والذي رجعنا إليه مراراً) بلا حدود . لأن انحناء أشعة الضوء لا يمكن أن يحدث إلا إذا تغيرت سرعة انتشاره مع موقعه . والآن قد تتوهم أنه تبعاً لذلك تكون نظرية النسبية الخاصة ومعها نظرية النسبية بأكملها قد تمرغت في التراب مع أن هذا في

---

١ ــ لقد ثبت انحراف الضوء بالقدر الذي تحدده النظرية بوساطة تصوير النجوم الذي قامت به بعثة أرسلتها الجمعية الملكية والجمعية الملكية للفلك أثناء كسوف الشمس في ١٩١٩/٥/٢٩ (انظر الملحق الثالث)

الواقع ليس صحيحاً . إنه لا يثبت إلا أن صحة النسبية الخاصة محدودة الأفق وأن نتائجها صحيحة فيما يتعلق بالظواهر التى يمكن أن نهمل أثر المجال الجاذبى فيها وحدها (أى الضوء) .

لما كان كثير من المعارضين للنظرية النسبية يحتجون بأن نظرية النسبية العامة تتعارض مع نظرية النسبية الخاصة فإنه من المفيد لتوضيح حقائق هذا الموضوع أن نضرب لذلك مثلا مناسباً . لقد كنا قبل تقدم الديناميكا الكهربية ننظر إلى قوانين الكهرباء والإستاتيكية على أنها قوانين الكهرباء عموماً ولكننا الآن نعلم جميعاً أن المجالات الكهربائية يمكن اشتقاقها اشتقاقا صحيحاً من الاعتبارات الإستاتيكية فى حالة واحدة فقط وهى حالة لا تتحقق أبداً تماماً وهى تلك التى تكون الكتل الكهربائية فيها ساكنة تماماً بالنسبة إلى بعضها البعض وبالنسبة إلى مجموعة الإسناد، فهل نكون على حق إذا قلنا استناداً إلى هذا إن معادلات المجالات فى الديناميكا الكهربائية لماكسويل تتعارض مع الإستاتيكا الكهربائية...؟ طبعاً لا لأن الإستاتيكا الكهربائية حالة خاصة من الديناميكا الكهربائية ، فقوانين الأخيرة تؤدى إلى قوانين الأولى فى حالة عدم تغير المجالات مع الزمن .

وليس هناك لأية نظرية فيزيائية مصير أسعد من أن تصبح هى نفسها لبنة فى بناء نظرية أوسع منها تعيش هى فيها كحالة محدودة خاصة .

وفى مثل انتقال الضوء الذى سقناه رأينا أن نظرية النسبية العامة تمكننا من أن نشتق نظرياً أثر مجال الجاذبية على العمليات الطبيعية التى نعرف قوانينها فى حالة عدم وجود مجال الجاذبية مقدما . ولكن المشكلة التى تلفت النظر أكثر من غيرها والتى تهدينا نظرية النسبية العامة إلى مفتاح حلها هى المشكلة التى تتعلق بالبحث عن القوانين التى يخضع لها مجال الجاذبية نفسه . ودعنا الآن نتأمل ذلك لحظة .

إننا على علم تام بمناطق الزمان ـــ مكان التى تخضع بصفة تقريبية للطريقة

الجاليلية متى اخترنا مجموعة الإسناد المناسبة . وهذه هي النواحي التي تختفي فيها المجالات الجاذبية . فإذا أسندنا الآن ناحية منها إلى مجموعة الإسناد مَ التي تتحرك بأي نوع من الحركة فإنه ينشأ عن ذلك بالنسبة إلى مَ مجال للجاذبية يتغير بتغير الزمان والمكان [1] وطابع هذا المجال سيتوقف طبعاً على الحركة التي نختارها للمجموعة مَ . وتبعاً لنظرية النسبية العامة يجب أن ينطبق القانون العام للمجالات الجاذبية على كل المجالات التي نحصل عليها بهذه الطريقة. وعلى الرغم من أنه ليس هناك وسيلة للحصول على كل المجالات الجاذبية بهذا الشكل يجب مع ذلك أن نتمسك بأمل استخلاص قانون الجذب العام من مثل مجال الجاذبية هذا . ولقد تحقق هذا الأمل على أكمل وجه ولكن كان علينا مقدماً أن نتغلب على مشكلة كبرى تتصل بأعمق طبائع الأشياء وإنني لا أستطيع أن أخفيها عن القارىء أكثر من هذا . إننا في أمس الحاجة إلى أن نوسع دائرة أفكارنا عن المتصل الزمكاني إلى مدى أبعد مما بلغناه حتى الآن.

---

1 ـ ان هذا ناتج من تعميم الفكرة التي نوقشت في الفصل العشرين.

الفصل الثالث والعشرون

سلوك الساعات وقضبان القياس على مجموعة إسناد تدور

لقد تجنبت عامداً حتى الآن الكلام عن التفسير الفيزيائى لمدلولات الزمان والمكان فى حالة نظرية النسبية العامة وعلى ذلك فإننى مسئول عن هذا التقصير خصوصاً والأمر الذى نحن بصدده كما تعلمنا نظرية النسبية الخاصة أشد ما يكون عمقاً وأهمية ولقد آن الأوان لكى نصحح هذا الخطأ ونستكمل هذا النقص ، وأبادر بالقول إن هذا لن يكون بالأمر الهين بالنسبة إلى القارىء إذ سيتطلب منه صبرا جميلا وتأملا عميقاً وقدرة فائقة على التجريد .

ولنبدأ مرة أخرى من بحالات خاصة طالما لجأنا إليها من قبل . دعنا نتخيل حيزاً من الزمان — مكان ليس به مجال جاذبى بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م التى اخترنا لها حالة مناسبة من الحركة . وفى هذه الحالة تكون م مجموعة إسناد جاليلية بالنسبة إلى هذا الحيز تنطبق عليها نتائج نظرية النسبية الخاصة . والآن دعنا نتخيل نفس هذا الحيز وقد أسندناه إلى مجموعة إسناد أخرى مَ تدور بانتظام بالنسبة إلى المجموعة م ، ولكى نحدد أفكارنا ونوضحها دعنا نتخيل مَ على شكل قرص مستو يدور فى مستواه حول مركزه . فإذا كان هناك راصد على حافة هذا القرص فإنه سوف يحس بتأثير قوة طاردة فى اتجـــــاه نصف قطر القرص قد يفسرها راصد كان فى حالة السكون بالنسبة إلى مجموعة الإسناد م على أنها من تأثير القصور الذاتى (قوة الطرد المركزية) ولكن الراصد الذى على القرص قد يعتبر هذا القرص مجموعة إسناد « ساكنة » وهو على أساس مبدأ النسبية العامة لا تنقصه المبررات ليفعل ذلك وتكون القوة التى تؤثر

عليه وعلى كل الأجسام الأخرى الساكنة بالنسبة إلى القرص راجعة فى اعتباره إلى تأثير مجال جاذبى . ومع ذلك فإن التوزيع المكانى (فى المكان) لهذا المجال الجاذبى من نوع يستحيل تحقيقه على أساس نظرية نيوتن للجاذبية[1] ولكن هذا لا يزعج الراصد الذى يؤمن ويتمسك بنظرية النسبية العامة فهو مصيب حينما يعتقد أنه من الممكن صياغة قانون عام للجاذبية لا يفسر فحسب حركات النجوم تفسيراً سليماً بل يفسر أيضاً مجال القوة التى يتعرض لها فى هذه التجربة .

ويجرى الراصد تجاربه على قرصه الدائرى مستعملا الساعات وقضبان القياس وهو حين يفعل ذلك يهدف إلى أن يصل إلى تعاريف مضبوطة لمعنى مدلولات الزمان والمكان بالنسبة إلى القرص الدائرى مَ على أساس ملاحظاته فما عساه فاعل فى هذا المضمار . . . ؟

إنه أولا سيضع ساعتين متماثلتين فى التركيب واحدة عند مركز القرص والأخرى عند حافته بحيث تكونان ساكنتين بالنسبة للقرص . ونحن الآن نتساءل هل ستجرى الساعتان بمعدل واحد من وجهة نظر (أى بالنسبة إلى الراصد على) مجموعة الإسناد الجاليلية التى لا تدور م . . . ؟ إننا نجد أنه بالنسبة إلى هذا المرجع ستكون الساعة التى فى المركز ثابتة لا سرعة لها بينما تكون الساعة التى على الحافة متحركة تبعا لدوران القرص . وتبعاً لنتيجة حصلنا عليها فى الفصل الثانى عشر نجد أن الساعة الأخيرة ستكون أبطأ بصفة دائمة من الساعة التى عند مركز القرص الدائرى كما يراها الراصد على م ، وواضح أن راصداً على القرص بجانب الساعة التى عند المركز سيرى نفس الشيء . وهكذا ستكون الساعة على قرصنا الدائرى أو فى كل مجال جاذبى —

---

١ — ان المجال يختفى عند مركز القرص ويزيد زيادة مضطردة تتناسب مع البعد عن المركز كلما تقدمنا الى الخارج .

وذلك لجعل الحالة أكثر شمولا - أسرع أو أقل إسراعاً تبعا للموضع الذى توضع فيه الساعة (فى حالة السكون) . ولهذا السبب يستحيل علينا أن نحصل على تعريف معقول للزمن بوساطة ساعات ضبطت وهى فى حالة السكون لمجموعة الإسناد . وتواجهنا صعوبة مماثلة عندما نحاول أن نطبق تعريفنا السابق للآنية فى مثل هذه الحالة . ولكنى لست أريد أن أخوض فى هذا الموضوع إلى أبعد من هذا .

وفوق ذلك يثير أمامنا — فى هذا الطور — تعريف إحداثيات المكان أيضا صعوبات لا يمكن التغلب عليها . فإذا طبق الراصد قضبان قياسه العيارية (قضيب قياس قصير إذا قورن بنصف قطر القرص) مماسة لحافة القرص فإن طول هذا القضيب بالنسبة إلى راصد على مجموعة الإسناد الجاليلية سيكون أقل من الواحد الصحيح لأن الأجسام المتحركة تعانى — تبعا للفصل الثانى عشر — قصراً فى اتجاه الحركة . ومن الناحية الأخرى لا يعانى قضيب القياس قصرا فى طوله كما يبدو من م إذا طبق على القرص فى اتجاه نصف قطره . وإذا قاس الراصد أولا محيط القرص بقضيب قياسه ثم قاس قطره فإنه إذا قسم نتيجتى القياس الواحدة على الأخرى لن يحصل كخارج للقسمة على العدد المعتاد ط = ٣٫١٤ بل على عدد أكبر [1] بينما يكون ناتج هذه العملية طبعا بالنسبة إلى قرص ساكن بالنسبة إلى م هو ط بالضبط وهذا يثبت أن قضايا هندسة إقليدس لا تنطبق تماماً على القرص الدائر ولا على المجال الجاذبى بصفة عامة على الأقل إذا اعتبرنا طول قضيب القياس هو الواحد الصحيح فى كل الأوضاع والاتجاهات . ومن هذا تفقد فكرة الخط المستقيم أيضاً معناها . ولسنا على ذلك فى وضع نستطيع معه أن

---

١ ـ علينا ان نستعمل خلال هذا البحث مجموعة الاسناد الجاليلية غير الدوارة لاننا لا نستطيع التسليم الا بصحة نتائج نظرية النسبية الخاصة بالنسبة الى م (فبالنسبة الى مَ يسود المجال الجاذبى) .

نعرّف بدقة الإحداثيات س . ص . سه بالنسبة للقرص بوساطة الطريقة التي اتبعناها في أثناء دراسة نظرية النسبية الخاصة وطالما كنا لا نستطيع تحديد إحداثيات أمكنة وأزمنة الحوادث فإننا بالتالي لا نستطيع أن نعطي معنى دقيقاً للقوانين الطبيعية التي تذكر فيها هذه الإحداثيات .

وهكذا تبدو كل استنتاجاتنا السابقة القائمة على النسبية العامة موضع تساؤل ومرجع هذا في الحقيقة إننا أصبحنا في أمس حاجة إلى الالتجاء إلى حركة التفاف بارعة حتى نستطيع أن نطبق مبدأ النسبية العامة تطبيقاً صحيحاً وسأعد القارىء بذلك في الفصول التالية .

الفصل الرابع والعشرون

المتصل الإقليدى واللاإقليدى

تخيل أيها القارىء العزيز أن سطح مائدة رخامية قد بسط أمامنا. إننا نستطيع أن ننتقل من أية نقطة على هذه المائدة إلى أية نقطة أخرى عليها بأن نتسلل باستمرار من نقطة إلى نقطة « مجاورة » ونستطيع تكرار هذه العملية ماشئنا . وبعبارة أخرى نقول إننا نستطيع الانتقال دون أن نقوم بأية « قفزات » وإنى واثق أن القارىء يقدر بوضوح تام ما أقصده هنا بلفظى « مجاورة » و « قفزات » ما لم يكن متعنتاً فوق ما ينبغى . ونحن نعبر عن هذه الخاصة للسطح بأن نصفه بأنه متصل .

دعنا نتخيل الآن أن لدينا عدداً كبيراً من القضبان الصغيرة متساوية الطول وأن طولها صغير بالمقارنة بأبعاد قطعة الرخام ، وأعنى حينما أقول متساوية الطول أننا إذا طبقناها الواحد على الآخر تقابلت كل أطرافها تماماً . ثم دعنا ندع أربعة من هذه القضبان على المائدة الرخامية بحيث تكوّن فيما بينها شكلا رباعياً (مربعاً) قطراه متساويان طولا . ولكى نتأكد من تساوى القطرين نستعمل قضيب اختبار قصيرا . ثم دعنا نضيف إلى هذا المربع مربعات متشابهة كل منها يشترك مع المربع الأول فى قضيب . ثم نوالى القيام بهذه العملية مع كل المربعات حتى تغطى أخيراً كل القطعة الرخامية تماما بالمربعات وهذا الترتيب يجعل كل جانب من أى مربع مشتركا بين مربعين وكل ركن مشتركا بين أربعة مربعات .

وسيكون مدعاة للعجب حقا أن نستطيع الاستمرار فى هذه العملية

دون .ن تكتنفنا الصعاب وماعلينا إلا أن نفكر فيما يلى : إذا تقابلت فى أية لحظة ثلاثة مربعات فى ركن فإن جانبين من المربع الرابع يكونا قد وضعا ويكون تبعاً لذلك وضع الجانبين الآخرين قد تحدد تماما ، ولكننى الآن لم أعد قادراً على ضبط الشكل الرباعى بحيث يمكن أن يتساوى قطراه فإذا جاءا متساويين تلقائياً فهذه منحة خاصة تهيئها خواص المائدة الرخامية وقضبان القياس لاأملك حيالها إلا الدهشة شاكراً، ولابد لنا من كثير من أمثال هذه المفاجئات إذا كان لابد من نجاح التركيب .

وإذا مر كل شيء بسلام فإننى يحق لى أن أقول عند ذلك إن نقط المائدة الرخامية متصل إقليدى بالنسبة إلى قضبان القياس التى استعملت « كسافة » (فترة ــ خطية) وإنى إذا أخذت ركناً من مربع واعتبرته « أصلا » أو نقطة إبتداء فإنى أستطيع أن أصف وصفاً تحديدياً كل ركن آخر لأى مربع مابالنسبة إلى هذا الأصل بوساطة عددين، فما علىّ إلا أن أذكر عدد القضبان التى يجب أن أمر فوقها ابتداء من الأصل أولا يميناً ثم إلى أعلا بعد ذلك حتى أصل إلى الركن موضع الاعتبار . وهذان العددان يكونان عند ذلك « الإحداثيين الكارتيزيين » لهذا الركن بالنسبة إلى « مجموعة الإسناد الكارتيزية » التى يحددها ترتيب قضبان القياس .

ونحن إذا حورنا هذه التجربة المجردة التحوير التالى اهتدينا إلى أنه لابد هناك حالات لا تنتهى فيها التجربة بالنجاح . سوف نتصور أن القضبان تتمدد بمقدار يتناسب مع زيادة درجة حرارتها ثم نسخن وسط المائدة الرخامية دون أطرافها ففى هذه الحالة يمكن أن يظل قضيبان من قضبان القياس متطابقين فى كل موضع على المائدة ولكن التركيب الذى أنشأناه من المربعات لابد وأن يضطرب فى أثناء التسخين لأن القضبان التى على وسط المائدة تتمدد بينما تظل تلك التى على الأطراف بلا تمدد .

وبالنسبة إلى قضبان القياس التى أعتبرناها ــ وحدة الأطوال ــ لا تعود المائدة الرخامية متصلا إقليدياً ولا نعود نحن أيضاً فى وضع نستطيع معه تحديد الإحداثيات الكارتيزية مباشرة بوساطتها ، ولكنه لما كان هناك أجسام أخرى لا تؤثر عليها درجة حرارة المائدة على نحو ما أثرت على

قضبان القياس (وربما لا تتأثر إطلاقاً) لذلك قد يكون ممكنا أن نتمسك بوجهة النظر التى تعتبر المائدة « متصلا إقليدياً » ويمكننا الوصول إلى هذا وبطريقة مرضية لو أننا أجرينا تعويضاً بارعاً فى عمليـــة قياس أو مقارنة الأطوال .

ولكن إذا كانت القضبان من جميع الأنواع (أى من جميع الأجسام) تسلك جميعها على قطعة الرخام متفاوتة التسخين فيما يتعلق بتأثير الحرارة عليها نفس السلوك ، وإذا لم يكن لدينا أية وسيلة لبيان تأثير الحرارة غير السلوك الهندسى لقضبان القياس فى التجارب المماثلة للتجربة التى تقدم وصفها فإن الخطة المثلى لدراسة سطح المائدة هى أن نطلق اسم « المسافة واحد » على نقطتين على السطح ما دام يمكن أن نجعل نهايتى قضيب من قضبان القياس تنطبقان على هاتين النقطتين لأنه ليس أمامنا وسيلة أخرى حتى نتفادى أن تكون العملية تعسفية إلى أبعد مدى . وعلى ذلك يجب أن نسقط طريقة الإحداثيات الكارتيزية وأن نبحث عن طريقة أخرى لا تفترض صحة هندسة إقليدس بالنسبة إلى الأجسام الجاسئة[1] ويلاحظ القارىء أن هذا الموقف يناظر الموقف الذى أدى إليه المبدأ العام للنسبية فى الفصل الثالث والعشرين .

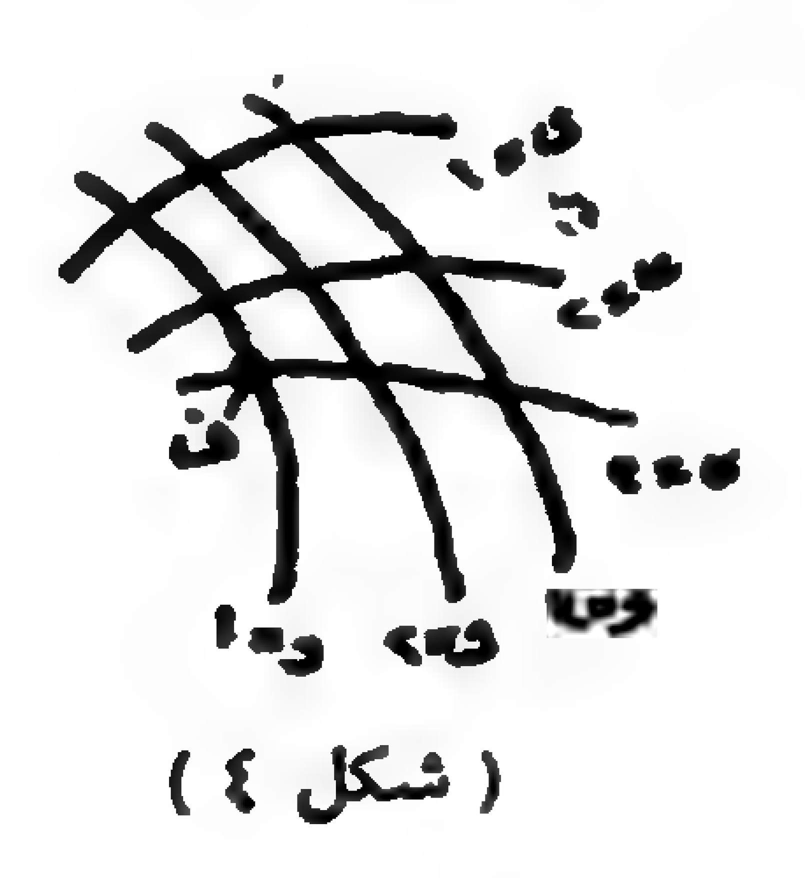
---

١ ـ الوضع الرياضى لهذه المشكلة هو : اذا كان لدينا مســـطح ما (بيضاوى مثلا) فى فضاء اقليدى ثلاثى الابعاد فانه يوجد لهذا السطح هندسة ثنائية الابعاد كما يوجد بالنسبة للمستوى . ولقد قام جاوس بمعالجة هذه الهندسة الثنائية الابعاد من المبادىء الاولى دون ان يلجأ الى حقيقة كون السطح يتعلق بمتصل اقليدى ثلاثى الابعاد فاذا تخيلنا اننا نقيم انشاءات بوساطة قضبان جاسئة فى الســطح (مشابهــة لتلك التى اقمناها فى السطح الرخامى) فاننا سنجد ان القوانين التى تنطبق على هذه الانشاءات تختلف عن القوانين التى تؤدى اليها هندسة اقليدس المستوية فليس السطح متصلا اقليديا بالنسبة الى قضبان القياس ولا نستطيع تعيين الاحداثيات الكارتيزية فى السطح . ولقد اوضح جاوس المبــادىء التى يمكن تبعا لها معالجة العلاقات الهندسية على السطح وهكذا اوضح معالم الطريق الى طريقة ريمان فى معالجة المتصلات اللا اقليدية متعددة الابعاد . وهكذا كان الرياضيون هم الذين حلوا منذ أمد بعيد المشكلات الشكلية التى يقودنا اليها مبدأ النسبية العامة .

الفصل الخامس والعشرون

إحداثيات جاوس

يرى جاوس أن الوسيلة التي تجمع بين التحليل والهندسة والتي تصلح لعلاج المشكلة يمكن بلوغها على النحو الآتي : لذلك نتخيل مجموعة من المنحنيات الاختيارية (انظر الشكل ٤) رسمت على سطح المائدة ونسميها المنحنيات (ى) ونشير إلى كل منها بعدد وقد رسمنا فى الشكل التوضيحى المنحنيات ى = ١ ، ى = ٢ ، ى = ٣، ويجب أن نتخيل بين المنحنيين



(شكل ٤)

ى = ١ ، ى = ٢ عدداً لانهائياً من المنحنيات مرسوماً ، وجميعها تناظر الأعداد الحقيقية الواقعة بين ١ ، ٢ وبذلك نحصل على نظام من المنحنيات ى . وهذا النظام المتناهى الكثافة يغطى سطح المائدة كله وهذه المنحنيات ى يجب أن لا تتقاطع مع بعضها البعض، ويجب ألا يمر بالنقطة الواحدة من السطح الا منحن واحد وواحد فقط . وهكذا يكون لكل نقطة على السطح قيمة (ى محددة تماماً. وبالمثل يمكن أن نتخيل نظاماً من المنحنيات (و) مرسوماً على السطح وهو يخضع لجميع شروط المنحنيات ى فهو مزود بأعداد بطريقة مماثلة ويمكن أيضاً أن يكون شكله اختيارياً . ويتبع ذلك أن يكون لكل نقطة على سطح المائدة قيمة (ى) وقيمة (و) ويسمى هذان العددان

إحداثي سطح المائدة (الإحداثيان الجاوسيان) فالنقطة ف مثلا فى الشكل التوضيحى لها الإحداثيان ى = ٣ ، و = ١ ، وتقابل النقطتان المتجاورتان ف ، فَ على السطح الإحداثيات :

ف : ى ، و

فَ : ى + ء ى ، و + ء و

حيث يعنى ء ى ، ء و عددين صغيرين جداً . وبنفس الطريقة نستطيع أن نشير إلى المسافة (الفترة — الخطية) بين ف ، فَ مقيسة بقضيب القياس بوساطة العدد الصغير جداً ء ط وقد وجد جاوس أن :

$$ء ط^{٢} = ل_{١١} ء ى^{٢} + ٢ ل_{١٢} ء ى ء و + ل_{٢٢} ء و^{٢}$$

حيث $ل_{١١}$ ، $ل_{١٢}$ ، $ل_{٢٢}$ مقادير تعتمد بطريقة محددة جداً على ى ، و والمقادير $ل_{١١}$ ، $ل_{١٢}$ ، $ل_{٢٢}$ تحدد سلوك القضبان بالنسبة للمنحنيات (ى) والمنحنيات (و) وبالتالى بالنسبة لسطح المائدة أيضاً . وفى الحالة التى تكوّن فيها نقط السطح محل الاعتبار متصلا إقليدياً بالنسبة إلى قضبان القياس يمكن رسم المنحنيات ى ، المنحنيات و وربط أعداد بالنسبة لها وفق المعادلة :

$$ء ط^{٢} = ء ى^{٢} + ء و^{٢}$$

وبهذه الشروط تكون المنحيات ى ، و خطوطا مستقيمة بالمعنى الإقليدى وتكون متعامدة مع بعضها البعض، وتكون إحداثيات جاوس هنا إحداثيات كارتيزية بكل بساطة . ومن الواضح أن إحداثيات جاوس ليست أكثر من ارتباط بمجموعتين من الأعداد مع نقط السطح موضع الاعتبار بحيث تكون القيم العددية التى تختلف فيما بينها اختلافاً ضئيلا مرتبطة بالنقط المتجاورة « فى المكان » .

وحتى الآن كنا نطبق هذه الأفكار على متصل ثنائى الأبعاد ولكن طريقة جاوس هذه يمكن أن تطبق بسهولة على متصل ثلاثى الأبعاد أورباعيها

أو حتى أكثر من ذلك فإذا كان بمكننا الحصول على متصل رباعى الأبعاد فإننا يمكن أن نصوره بالطريقة الآتية : نربط بطريقة اختيارية كل نقطة من نقط هذا المتصل بأربعة أعداد س_1، س_2، س_3، س_4 وتعرف بالإحداثيات ويقابل النقط المتجاورة قيم متقاربة للإحداثيات فإذا كانت المسافة ء ط مرتبطة بالنقطتين المتجاورتين ف ، فَ وهى قابلة للقياس والتحديد فزيائياً فإن المعادلة التالية تكون صحيحة :

$$\text{ء ط}^2 = \text{ل}_{11}\,\text{ء س}_1^2 + 2\,\text{ل}_{12}\,\text{ء س}_1\,\text{ء س}_2 + \cdots + \text{ل}_{44}\,\text{ء س}_4^2$$

حيث تكون المقادير ل_{11} . . . . إلخ قيماً تتغير مع الموقع فى المتصل . ولا يمكن أن نربط الإحداثيات س_1 ... س_4 مع نقط المتصل بحيث يصبح لدينا ببساطة :

$$\text{ء ط}^2 = \text{ء س}_1^2 + \text{ء س}_2^2 + \text{ء س}_3^2 + \text{ء س}_4^2$$

إلا إذا كان المتصل إقليدياً . وفى هذه الحالة تظل العلاقات فى المتصل الرباعى قائمة على النحو الذى تقوم عليه فى قياساتنا الثلاثية الأبعاد .

ومع ذلك فليست معالجة جاوس للمقدار ء ط^2 التى أوضحناها عاليه ممكنة دائماً إذ يقتصر ذلك على الحالات التى نضع فيها موضع الاعتبار مناطق من المتصل صغيرة بدرجة تكفى لاعتبارها متصلات إقليدية . وهذا مثل ينطبق بوضوح على حالة المائدة الرخامية ذات التغير المحلى لدرجة الحرارة (متفاوته التسخين) فإن درجة الحرارة ثابتة عملياً بالنسبة إلى جزء صغير من المائدة ، وهكذا يكون السلوك الهندسى لقضبان القياس تقريباً كما يجب أن يكون وفق قواعد هندسة إقليدس ، ومن هنا نرى لماذا كان الخلل فى إنشاء المربعات فى الفصل السابق لا يتضح جلياً إلا إذا امتد هذا الإنشاء فوق جزء كبير من سطح المائدة .

يمكننا أن نلخص ما تقدم فيما يلى : لقد اخترع جاوس طريقة نستطيع

بها معالجة المتصلات عموما علاجا رياضياً وهذه الطريقة تحدد علاقات الحجم أو الكم (« المسافات » بين النقط المتجاورة) بأن تختص كل نقطة فى المتصل بعدد من الأعداد يساوى ماله من الأبعاد ويتم ذلك بشكل يجعل للمخصصة معنى واحداً ويجعل الأعداد (الإحداثيات الجاوسية) التى تخصص لنقط متجاورة تختلف فيما بينها بمقادير متناهية فى الصغر . ومجموعة الإحداثيات الجاوسية تعميم منطقى لمجموعة الإحداثيات الكارتيزية ويمكن تطبيقها أيضاً على المتصلات اللا إقليدية وذلك فقط عندما تسلك — من حيث الحجم أو المسافة المحددان — الأجزاء الصغيرة من المتصل محل الاعتبار سلوكاً يشبه تقريباً النظام الإقليدى . وذلك كلما صغر الجزء من المتصل الذى نطبقها عليه .

الفصل السادس والعشرون

المتصل الزمان والمكان فى نظرية النسبية الخاصة

على اعتبار أنه متصل إقليدى

إننا الآن فى وضع نستطيع معه أن نصوغ فكرة منكوفسكى التى أشرنا إليها بمجرد إشارة عابرة فى الفصل السابع عشر بدقة أتم . لقد رأينا أنه تبعاً لنظرية النسبية الخاصة تَفضُلُ بعض مجموعات الإسناد من حيث الملاءمة لوصف المتصل الزمان والمكان الرباعى الأبعاد غيرها . ولقد سمينا هذه المجموعات المفضلة مجموعات إسناد جاليلية . ولقد أوضحنا فى الجزء الأول من هذا الكتاب تفصيلا التعريف الفزيائى للإحداثيات الأربعة س ، ص ، ـسـ ، ز التى تحدد الحادثة أوبعبارة أخرى النقطة فى المتصل رباعى الأبعاد. وفى حالة الانتقال من مجموعة إسناد جاليلية إلى أخرى تتحرك بحركة منتظمة بالنسبة للأولى تنطبق معادلات تحويل لورنتز . وهذه المعادلات هى الأساس الذى يرتكز عليه اشتقاق الاستنتاجات من نظرية النسبية الخاصة . وهى فى حد ذاتها (أى المعادلات) ليست إلا التعبير عن صحة قانون انتشار الضوء بالنسبة إلى مجموعات الإسناد الجاليلية .

ولقد وجد منكوفسكى أن تحويلات لورنتز تحقق الشروط البسيطة الآتية : دعنا نتخيل حادثتين متجاورتين يحدد مكانهما النسبى فى المتصل رباعى الأبعاد بالنسبة إلى مجموعة الإسناد الجاليلية مَ الفروق المكانية الإحداثية ء س ، ء ص ، ء ـسـ والفرق الزمانى ء ز ، وسنفرض أن الفروق المقابلة لهاتين الحادثتين بالنسبة إلى مجموعة إسناد جاليلية أخرى هى ء س ،

ءص َ ، ءسه َ ، ءز َ فإنه فى هذه الحالة تحقق هـذه المقادير دائماً الشرط التالى(1) :

$$\text{ءس}^2 + \text{ءص}^2 + \text{ءسه}^2 - \text{ءز}^2\,\text{حـ}^2 = \text{ءس َ}^2 + \text{ءص َ}^2 + \text{ءسه َ}^2 - \text{ءز َ}^2\,\text{حـ}^2$$

وصحة تحويل لورنتز مترتبة على هذا الشرط ونستطيع أن نعبر عن ذلك كما يلى : ـــ المقدار

$$\text{ءف}^2 = \text{ءس}^2 + \text{ءص}^2 + \text{ءسه}^2 - \text{حـ}^2\,\text{ءز}^2$$

وهو يتعلق بنقطتين متجاورتين من نقط المتصل الزمانى المكانى رباعى الأبعـاد له نفس القيمـة بالنسبة إلى كل مجموعات الإسناد المختارة (الجاليلية) وإذا استبدلنا بالمقادير س ، ص ، سه ، $\sqrt{-1}$ حـ ز

المقادير س_1 ، س_2 ، س_3 ، س_4 نحصل أيضاً على :

$$\text{ءف}^2 = \text{ءس}_1^2 + \text{ءس}_2^2 + \text{ءس}_3^2 + \text{ءس}_4^2$$

مستقلة عن اختيـار مجموعة الإسناد (أى أياً كانت مجموعة الإسناد) ونسمى المقـدار ءف « المسافة » التى تفصل بين الحادثتين أو النقطتين رباعيتى الأبعاد .

وهكذا نجد أننـا إذا اخترنا كمتغير للزمن المتغير الخيالى $\sqrt{-1}$ حـ ز بدلا من الـكمية الحقيقية ز فإننا نستطيع أن نعتبر المتصل الزمانى ـــ المكانى المتفق مع نظرية النسبية الخاصة متصلا إقليدياً رباعى الأبعاد وهـذه هى النتيجة التى تؤدى إليها اعتبارات الفصل السابق .

---

1 ـــ انظر الملحق 1 ، 2 فالعلاقات التى اشتقت هناك للاحداثيـات نفسها صحيحة ايضا لفروق الاحـــداثيات وكذلك ايضا لتفاضلات الاحداثيات (الفروق المتناهية الصغر) .

الفصل السابع والعشرون

المتصل الزمانى المكانى الخاص بالنظرية النسبية العامة

ليس متصلا إقليدياً

استطعنا فى الجزء الأول من هذا الكتاب أن نستعمل إحداثيات زمكانية كان من الممكن تفسيرها تفسيراً فزيائياً بسيطاً مباشراً وكان من الممكن اعتبارها كما وضح فى الفصل السادس والعشرين إحداثيات كارتيزية رباعية الأبعاد . وكان هذا ممكناً استناداً إلى قانون ثبوت سرعة الضوء . ولكننا قد رأينا فى الفصل الحادى والعشرين أن نظرية النسبية العامة لا يمكن أن تحتفظ بهذا القانون بل على العكس ظهر أنه تبعاً لهذه النظرية الأخيرة لا بد أن تعتمد سرعة الضوء دائماً على الإحداثيات متى وجد مجال جاذبى . وفى سياق توضيح هذا الأمر فى الفصل الثالث والعشرين وجدنا أن وجود المجال الجاذبى يبطل تحـديد الإحداثيات والزمن ذلك التحديد الذى استخدمناه فى النظرية النسبية الخاصة .

ونتيجة لهذه الاعتبارات انتهينا إلى الاقتناع بأن المتصل الزمانى المكانى فى النظرية النسبية العامة لا يمكن اعتباره متصلا إقليديا بل إننا نجد هنا الحالة العامة التى تمثلها المائدة الرخامية فى حالة الاختلاف الموضعى فى درجة الحرارة (متفاوتة التسخين) والتى اعتبرناها متصلا ثنائى الأبعاد . وكما كان مستحيلا هناك بناء مجموعة إحداثيات كارتيزية من قضبان القياس المتساوية فإنه يستحيل هنا أيضاً أن نتخذ مجموعة من الأجسام الجاسئة والساعات (مجموعة إسناد) بحيث تكون قضبان القياس والساعات التى

رتبت ترتيباً جاسئاً (متماسكاً) بالنسبة إلى بعضها البعض قادرة على تحديد الموقع والزمن مباشرة . ولقد كان هذا هو لب المشكلة التي واجهتنا في الفصل الثالث والعشرين .

ولكن الاعتبارات التي استعرضناها في الفصلين الخامس والعشرين والسادس والشعرين ترشدنا إلى طريقة التغلب على هذه الصعوبة . ذلك بأن نسند المتصل الزماني المكاني لرباعي الأبعاد إلى إحداثيات جاوس بطريقة حكيمة ونخص كل نقطة من المتصل (حادثة) بأربعة اعداد س١، س٢، س٣، س٤ وهي إحداثيات ليس لها أقل معنى فزيائي مباشر بل لمجرد ترقيم نقط المتصل بطريقة محددة ولكنها اختيارية . ولا يستوجب هذا الترتيب حتى أن نعتبر س١، س٢، س٣ إحداثيات « مكان » و س٤ إحداثي زمن .

وقد يظن القارىء أن تصوير العالم على هذا النحو تصوير مشوه فما معنى أن نخص حادثة ما بالإحداثيات الخاصة س١، س٢، س٣، س٤ إذا كانت هذه الإحداثيات في حد ذاتها ليس لها معنى ؟ ولكننا لو تمعنا الموضوع بعناية أكثر لرأينا أنه لا أساس لهذا القلق . فلو تأملنا مثلا نقطة مادية تتحرك بأية حركة لوجدنا أنه لو كان وجود هذه النقطة لحظيا لا يستمر مع الزمن لأمكن وصفها وتحديدها في الزمان — مكان بمجموعة واحدة من القيم س١، س٢، س٣، س٤ . وهكذا يجب أن يتمثل استمرار وجودها بعدد لا نهائي من مثل هذه المجموعات من القيم التي تكون قيمها الإحداثية أيضا متقاربة جداً بحيث توحي بالاستمرار . وعلى ذلك يصبح لدينا مقابل كل نقطة مادية خط كوني (أحادي الأبعاد) في المتصل لرباعي الأبعاد . وهكذا تناظر هذه الخطوط في المتصل نقطاً كثيرة تتحرك والحالة الوحيدة التي تصبح فيها هذه النقط ذات وجود فزيائي هي في الحقيقة حالة تقابلها . وحالة التقابل هذه نعبر عنها رياضياً بأن يكون الخطان اللذان يمثلان حركتي النقطتين موضوع البحث لهما مجموعة خاصة من القيم الإحداثية

$س_1$ ، $س_2$ ، $س_3$ ، $س_4$ مشتركة بينهما . وإذا تأمل القارىء هذا الأمر ملياً فلا شك أنه سيسلم بأن مثل هـذه التقابلات فى الحقيقة هى الشاهد الفعلى الوحيد على الجوهر الزمكانى الذى تتضمنه البيانات الفزيائية .

إننا إذ نصف حركة نقطة مادية بالنسبة إلى مجموعة إسناد لا نذكر شيئاً أكثر من تقابلات هـــذه النقطة مع نقط خاصة من مجموعة الإسناد . ونستطيع أيضاً أن نحـدد القيم الزمانية المناظرة بوساطة رصد تقابلات الجسم مع الساعات مرتبطة مع رصد تقـابل عقارب الساعات مع نقط معينة على ميناء تلك الساعات . وهو نفس ما يحدث فى حالة قياسات المكان بوساطة قضبان القياس كما يتضح ذلك جيداً لو تأملناه قليلا ببعض الإمعان.

إن ما يلى صحيح بوجه عام : إن كل وصف فزيائى يتحلل ذاتياً إلى عدد من النصوص يشير كل منها إلى تطابق زمكانى لحادثتين ا ، ب وإذا عبرنا عن كل نص من هذه النصوص بدلالة إحداثيات جاوس نقول إن الإحداثيات الأربعـة $س_1$ ، $س_2$ ، $س_3$ ، $س_4$ لـكلا الحادثتين واحدة . وهكذا نحل فى الحقيقة بصورة كاملة وصف المتصـل الزمكانى بوساطة إحداثيات جاوس محـل وصف المتصل بوساطة مجموعات الإسناد ويجنبنا الأول منهما أوجه النقص التى تنطوى عليهـا الطريقة الثانية فليس مقيداً بضرورة فرض الطابع الإقليدى على المتصل الذى نريد تمثيله .

الفصل الثامن والعشرون

التعبير الدقيق عن مبدأ النسبية العام

إننا الآن فى وضع يسمح لنا بأن نستبدل بالتعبير المؤقت عن مبدأ النسبية العام الذى قدمناه فى الفصل الثامن عشر تعبيراً آخر دقيقاً جداً. لقد كان تعبيرنا عن ذلك المبدأ على هذه الصورة : كل مجموعات الإسناد م ، مَ . . . إلخ متكافئة من حيث وصف الظواهر الطبيعية (أو صياغة القوانين الطبيعية العامة) مهما كانت حالتها من الحركة . ولا يمكن الآن الاحتفاظ بهذه الصورة لأن استعمال مجموعات الإسناد الجاسئة على الطريقة التى اتبعت فى النظرية النسبية الخاصة لم يعد مستطاعاً بوجه عام لوصف الزمان — مكان فلا بد من استبدالها بمجموعات إحداثيات جاوس. والنص التالى يعبر عن الفكرة الأساسية فى مبدأ النسبية العامة . «كل مجموعات إحداثيات جاوس متكافئة من حيث ملاءمتها لصياغة القوانين الطبيعية العامة»

ونستطيع أيضاً أن نضع مبدأ النسبية العامة هذا على نحو جديد آخر يجعله أسهل فهماً حتى عما لو اعتبرناه امتداداً طبيعياً لمبدأ النسبية الخاص . فتبعاً لنظرية النسبية الخاصة كانت المعادلات التى تعبر عن القوانين الطبيعية العامة فيما قبل النسبية هى نفس المعادلات النسبية بشرط أن نحل المتغيرات الزمكانية سَ ، صَ ، سهَ ، زَ لمجموعة الإسناد الجديدة مَ محل المتغيرات الزمكانية س ، ص ، سه ، ز لمجموعة الإسناد الجاليلية م وذلك باستخدام تحويل لورنتز . أما تبعاً لمبدأ النسبية العام من الناحية الأخرى فيجب أن تحتفظ المعادلات بنفس الشكل عندما نطبق البديلات التحكمية للمتغيرات

الجاوسية $س_١$ ، $س_٢$ ، $س_٣$ ، $س_٤$. وذلك لأن كل تحويل (وليس تحويل لورنتز فقط) يقابل الانتقال من مجموعة ما من إحداثيات جاوس إلى أخرى.

وإذا أردنا أن نتمسك بنظرتنا القديمة ثلاثية الأبعاد إلى الأشياء فإننا نستطيع أن نصف التجديد أو التقدم الذى تناول الفكرة الأساسية لنظرية النسبية العامة على النحو التالى : إن نظرية النسبية الخاصة تتعلق بالحيز الجاليلى أى المناطق التى لا يوجد بها مجال جاذبى وفى هذه الحالة يستخدم كمجموعة إسناد مجموعة جاليلية أى جسم جامىء حالته من الحركة مختارة بحيث ينطبق عليها قانون جاليليو لحركة نقطة مادية منعزلة ، أى حركة منتظمة فى خط مستقيم . وبعض الاعتبارات توحى بأننا يحسن بنا أن نرجع أو نسند نفس الحيزات الجاليلية إلى مجموعات إسناد لا جاليلية أيضاً وعندئذ نجد مجالا جاذبياً من نوع خاص بالنسبة إلى هذه المجموعات (انظر الفصل العشرين والثالث والعشرين) .

ولكن شيئاً مثل الأجسام الجاسئة ذات الخواص الإقليدية لا وجود له فى المجالات الجاذبية وهكذا لا محل فى نظرية النسبية العامة لمجموعات الإسناد الجاسئة الخيالية هذه . وكذلك حركة الساعات . إنها تتأثر أيضاً بمجال الجاذبية بحيث يصبح تحديد الزمن فزيائياً ويتم مباشرة بوساطة الساعات أقل قبولا عما كان فى نظرية النسبية الخاصة .

ولهذا السبب نستعمل مجموعات إسناد غير جاسئة لا تتحرك ككل بأى شكل كان فحسب بل تعانى تغيرات فى الشكل على هواها أثناء حركتها وتستعمل لتحديد الزمن ساعات لا قيد على قانون حركتها فهو كيفما اتفق مهما كان شاذاً ، ويجب علينا أن نتصور كلا من هذه الساعات مثبتة فى نقطة من مجموعة الإسناد غير الجاسئة بشرط واحد فقط هو أن تكون القراءات التى تحددها الساعات المتجاورة فى لحظة واحدة مختلفة عن بعضها البعض بقدر ضئيل جداً ، وهذه المجموعة غير الجاسئة والتى يمكن أن نسميها بحق مجموعة إسناد

رخوية هى فى الأصل ما يكافىء مجموعة إحداثيات جاوس رباعية الأبعاد التى نختارها بطريقة تحكمية . إن ما يجعل الرخويات أقرب تصورا من مجموعة إحداثيات جاوس ، هو (ولو أنه لا يوجد مبرر حقيق لذلك) الأثر الشكلى العالق بأذهاننا عن الكيان المنفصل لإحداثيات المكان فى مواجهة إحداثى الزمن . إن كل نقطة على المجموعة الرخوية تعالج على اعتبارها نقطة مكان وكل نقطة مادية ساكنة بالنسبة لها تعتبر ساكنة مادمنا نعتبر القوقعة الرخوة مجموعة إسناد . ويقضى مبدأ النسبية العامة بأن جميع هذه الرخويات يمكن استخدامها كمجموعة إسناد لها نفس الحقوق ونفس الأهلية فى صياغة القوانين العامه لطبيعة . أما القوانين نفسها فيجب أن تكون مستقلة تماماً عن اختيار المجموعة الرخوية .

إن القوة الهائلة التى ينطوى عليها مبدأ النسبية العام تكمن فى التحديد الشامل الذى يفرض على قوانين الطبيعة تبعاً لما رأيناه آنفاً .

الفصل التاسع والعشرون

حل مشكلة الجاذبية على أساس المبدأ العام للنسبية

أن القارىء الذى استوعب فى أناة وروية كل ما قدمنا من الاعتبارات لن يجد صعوبة ما فى فهم الوسائل المؤدية إلى حل مشكلة الجاذبية .

دعنا نبدأ أولا بتأمل حيز جاليلى أى حيز خالى من المجال الجاذبى بالنسبة إلى مجموعة الإسناد الجاليلية م . ونحن نعلم من نظرية النسبية الخاصة على أى نحو تسلك قضبان القياس والساعات بالنسبة إلى هذه المجموعة م وهو يشبه سلوك النقطة المادية المعزولة وهـــذه تتحرك بحركة منتظمة فى خط مستقيم .

ثم دعنا الآن نسند هذا الحيز إلى مجموعة إحداثيات جاوسية أيا كانت أو إلى مجموعة رخوة على اعتبار أنها مجموعة إسناد ولنسمها مَ . عندئذ يكون هناك بالنسبة إلى مَ مجال جاذبى ح (من نوع خاص) ونستطيع أن نقف على كيفية سلوك قضبان القياس والساعات وكذلك النقط المادية التى تتحرك بلا قيد بالنسبة إلى مجموعة الإسناد وذلك بوساطة التحويل الرياضى ببساطة . ونحن نفسر هذا السلوك بأنه سلوك الساعات وقضبان القياس والنقط المادية تحت تأثير المجال الجاذبى ح . وعند ذلك دعنا نفترض أن أثر المجال الجاذبى على قضبان القياس والساعات والنقط المادية التى تتحرك بحرية يستمر وفقاً لنفس القوانين حتى فى حالة ما إذا كان المجال الجاذبى السائد لا يمكن اشتقاقه من الحالة الجاليلية الخاصة بمجرد تحويل الإحداثيات .

والخطوة التالية لذلك هى أن نبحث السلوك الزمكانى للمجال ح الذى اشتق من الحالة الجاليلية الخاصة بمجرد تحويل الإحداثيات . ويصاغ هذا السلوك فى قانون يكون دائماً صحيحاً مهما كان اختيار مجموعة الإسناد الرخوة التى يتم الوصف بالنسبة إليها . وليس هذا القانون مع ذلك هو القانون العام للمجال الجاذبى مادام المجال الجاذبى الذى وصفناه هنا موضع الاعتبار من نوع خاص .

ومتى أمكن أن نهتدى إلى القانون العام للمجال الجاذبى يظل واجباً علينا أن نحصل على تعميم للقانون الذى حصلنا عليه آنفا، ولن يكون هذا بالأمر العسير لو أننا وضعنا نصب أعيننا المطالب التالية : —

(ا) يجب أن يتفق التعميم المطلوب مع الفرض العام للنسبية .

(ب) إذا كان فى الحيز موضوع البحث أية مادة فإن كتلتها القصورية فقط وبالتالى طاقاتها حسب الفصل الخامس عشر هى التى توضع موضع الاعتبار لأنها هى التى يتسبب عنها المجال وهى التى نبعثه .

(ج) يجب أن يحقق المجال الجاذبى والمادة معاً قانون بقاء الطاقة (والدفع) .

وأخيراً فإن المبدأ العام للنسبية يسمح لنا بأن نحدد أثر المجال الجاذبى على مجرى كل تلك العمليات التى تحدث وفقاً لقوانين معلومة فى حالة غياب المجال الجاذبى ، أى تلك التى سبق أن دخلت فى إطار نظرية النسبية الخاصة ، ولبيان هذا الأثر نتبع من حيث المبدأ نفس الطريقة التى سبق أن شرحناها بالنسبة إلى قضبان القياس والساعات والنقط المادية التى تتحرك بحرية .

ونظرية الجاذبية التى اشتقت بهذه الطريقة من الفرض العام للنسبية لاتبز غيرها بالنسبة لجمالها ولا من حيث تغلبها على النقص الذى تنطوى

عليه الميكانيكا الكلاسيكية والذى أوضحناه فى الفصل الحادى والعشرين ، ولا من حيث تفسيرها للقانون التجريبي لتساوى كتلة القصور وكتلة الجاذبية فحسب بل لأنها فوق كل هذا قد نجحت فى تفسير ظاهرة فلكية عجزت عن تفسيرها الميكانيكا الكلاسيكية .

إننا إذا قصرنا تطبيق النظرية على الحالة التى يكون فيها المجال الجاذبي ضعيفاً والتى تتحرك فيها الكتل بالنسبة إلى مجموعة الإحداثيات بسرعات صغيرة مقارنة لسرعة الضوء فإننا نحصل كتقريب أول على نظرية نيوتن . وهكذا نحصل هنا على هذه النظرية دون حاجة إلى أية فروض خاصة فى حين أن نيوتن اضطر إلى إدخال الفرض الذى ينص على أن التجاذب بين نقطتين متجاورتين يتناسب عكسياً مع مربع المسافة بينهما . وإذا راعينا منتهى الدقة فى التقديرات الحسابية ظهرت الانحرافات والفروق مع نظرية نيوتن ولو أن هذه الفروق جميعها مما لايمكن اختباره عملياً نظراً لضآلتها المتناهية .

ومع ذلك يجب أن نتوقف قليلا لنتأمل بإمعان أحد هذه الفروق ، فتبعاً لنظرية نيوتن يتحرك أى كوكب حول الشمس فى قطع ناقص يحتفظ دائماً بموضعه بالنسبة للنجوم الثابتة لو أننا أهملنا حركة النجوم الثابتة نفسها وتأثير الكواكب الأخرى محل الاعتبار . وهكذا إذا صححنا حركة الكواكب الظاهرة وفقا لهذين المؤثرين وإذا كانت نظرية نيوتن صحيحة تماماً وجب أن نحصل على قطع ناقص كمدار للكواكب، يكون ثابتاً بالنسبة إلى النجوم الثابتة . وهذا الاستنتاج الذى يمكن التحقق منه بدقة عظيمة كانت غاية مايمكن بلوغه من الدقة فى حينها ، أمكن التحقق منه بالنسبة إلى كل الكواكب إلا واحداً هو عطارد أقرب الكواكب إلى الشمس فقد أصبح معروفا منذ أيام لوفرييه أن القطع الناقص الذى يمثل مدار عطارد بعد تصحيحه وفقاً للمؤثرين آنفى الذكر ليس ثابتاً بالنسبة إلى النجوم الثابتة بل إنه يدور

دوراناً بطيئاً جداً فى مستوى المدار على مثال الحركة المدارية . وكانت القيمة التى حصلنا عليها لهذه الحركة الدورانية للقطع الناقص المدارى تبلغ ٤٣ ثانية من القوس فى القرن وقد تأكد صدق هذا التقدير إلى حدود ثوان قليلة من القوس، ويمكن إيجاد تفسير مقبول لهذا الأثر تبعاً للميكانيكا الكلاسيكية بشرط التسليم بفروض ضعيفة الاحتمال وضعت خصيصاً لهذا الغرض .

ولكنه وجد على أساس نظرية النسبية العامة أن كل القطوع الناقصة التى تدور فيها الكواكب حول الشمس يجب أن تدور بنفس الطريقة آنفة الذكر وأن مقدار هذا الدوران بالنسبة إلى كل الكواكب ماعدا عطارد أصغر من أن يمكن اكتشافه بالوسائل الراهنة ولكنه فى حالة عطارد لابد أن يبلغ ٤٣ ثانية من القوس فى القرن وهى نتيجة تتفق أتم اتفاق مع التجربة.

وبخلاف هذا أمكن الوصول إلى استنتاجين آخرين فقط يمكن وضعهما موضع الاختبار ليشهدا لها وهما انحناء أشعة الضوء بوساطة مجال جاذبية الشمس[1] وانتقال موضع خطوط الطيف فى الضوء الذى يصل إلينا من النجوم الكبيرة بالمقارنة بموضع نفس هذه الخطوط للأضواء التى يمكن إنتاجها بطريقة مشابهة على الأرض (أى بوساطة نفس الذرة)[2] وقد تأيد هذان الاستنتاجان اللذان استنتجا نظرياً من النظرية النسبية العامة بالبرهان العملى .

---

١ ــ كان ادنجتون وآخرون أول من رصدوا ذلك فى سـنة ١٩١٩ (انظر الملحق ٣) .

٢ ــ حقق ذلك آدمز سنة ١٩٢٤ (انظر الملحق ٣) .

الجزء الثالث

تأملات فى الكون ككل

الفصل الثلاثون

الصعوبات الكونية فى نظرية نيوتن

تنطوى ميكانيكا الأجرام السماوية على مشكلة أساسية أخرى بخلاف المشكلة التى سبق مناقشتها فى الفصل الحادى والعشرين . وقد كان الفلكى سيلجر – فيما أعلم – هو أول من تعرض لدراستها بتوسع وتفصيل . وهذه المشكلة هى موضوع الكون ككل وكيف يجب النظر إليه . إن أول ما يتبادر إلى الذهن هو أن الكون من حيث المكان (والزمان) لا نهائى فهناك نجوم فى كل أجزاء الفضاء بحيث تصبح كثافة المادة ولو أنها شديدة التباين فى تفصيلاتها واحدة فى المتوسط فى كل الفضاء أو بعبارة أخرى فإننا أينما نذهب أو مهما ابتعدنا فى تجوالنا فى الفضاء سنجد فى كل مكان حشوداً مخففة من النجوم الثابتة واحدة النوع والكثافة تقريبا .

ولا تتفق هذه النظرة مع نظرية نيوتن إذ يستوجب هذا أن يكون الكون ما يشبه المركز تبلغ كثافة النجوم فيه أقصاها ثم تأخذ فى التناقص كلما ابتعدنا عن المركز إلى أن – وذلك بعد أبعاد شاسعة – تتلاشى ليتلوها فراغ لا نهائى[1] . إن الكون النجمى لا بد أن يكون جزيرة منتهية فى محيط لا نهائى من الفضاء .

---

١ – **البرهان على ذلك** : تتناسب تبعا لنظرية نيوتن خطوط القوى التى تاتى من مالا نهاية وتنتهى فى الكتلة ك مع الكتلة ك واذا كان متوسط كثافة المادة ث فى الكون ثابتا فان كرة حجمها ح ستحتوى على متوسط كتلة ح ث وهكذا يصبح عدد خطوط القوى التى تمر خلال السطح س – وهو سطح الكرة – الى داخلها متناسب مع ث ح وهكذا يتناسب عدد خطوط القوى التى تمر من وحدة مساحات سطح الكرة الى داخلها مع (ث ح/س) او (ث نق) وعلى ذلك تصبح اخيرا شده المجال على سطح الكرة مع ازدياد نصف قطر الكرة لا نهائية وهذا امر مستحيل .

وهذا التصور للكون ليس مرضياً تماماً فى حد ذاته وهو أقل قبولا لأنه يضطرنا إلى التسليم بأن الضوء الذى ينبعث من النجوم وكذلك أفراد من المجموعة النجمية تخرج باستمرار إلى الفضاء اللانهائى دون رجعة وبحيث لا تعود إلى تبادل التأثير على موجودات الطبيعة الأخرى . إن مثل هذا الكون المادى المنتهى محتوم عليه أن يتلاشى تدريجياً وبانتظام .

ولتفادى هذا العيب اقترح سيلجر تعديلا لقانون نيوتن يفرض فيه أنه فى حالة المسافات الشاسعة تتناقص قوة الجذب بين كتلتين بأسرع مما تتناقص به هذه القوة تبعاً لقانون عكس المربع . وبهذه الطريقة يصبح ممكناً أن يظل متوسط كثافة المادة ثابتاً فى كل مكان حتى فى اللانهاية . وهكذا نتخلص من تلك الفكرة السقيمة التى تحتم أن يكون للكون شىء فى طبيعة المركز . ومن الطبيعى أننا هنا نتفادى ذلك العيب السالف الذكر ولكن بثمن باهظ هو تعديل قانون نيوتن وتعقيده دون أن يكون لهذا التعديل أى أساس نظرى أو تجريبى يستند إليه . إننا نستطيع أن نتخيل عدداً لا حصر له من القوانين التى تؤدى نفس الغرض ولسنا ندرى أيها يجب أن نفضله ، لأن أياً من هذه القوانين سيستند إلى نفس العدد الضئيل من المبادىء النظرية العامة مثلما يستند قانون نيوتن .

الفصل الحادي والثلاثون

إمكان وجود كون منته ولكنه غير محدود

ولكن الآراء في بناء الكون تسير أيضاً في اتجاه آخر جد مختلف. فقد دفع بنا تقدم الهندسة اللا إقليدية إلى التسليم بأننا نستطيع أن نلقي الشك على لا نهائية الفضاء حولنا دون أن نرتكب ما يخالف قوانين الفكر أو التجربة (ريمان. هلموهولتز) ولقد عالج تفاصيل هذه المسائل بوضوح لامزيد عليه كل من هلموهولتز وبوانكاريه، بينما لا أملك هنا إلا أن أشير إليها في إيجاز شديد.

دعنا نتخيل أولا عالماً ثنائي الأبعاد. كائنات مفرطحة وكل ما يتعلق بها مفرطح خصوصاً أدوات قياس مفرطحة جاسئة وهذه كلها حرة التحرك في «مستوى» وبالنسبة إلى هذه الكائنات لا وجود لشيء خارج المستوى إن كل ما يمكن أن يحدث لها أو لمتعلقاتها المفرطحة سيكون محصوراً حتماً في المستوى الذي هو بمثابة الحقيقة الشاملة بالنسبة لها وعلى الأخص سيكون مستطاعاً هنا تنفيذ إنشاءات الهندسة الإقليدية — أي مثل تلك الانشاءات الشبكية التي ناقشناها في الفصل الرابع والعشرين — بوساطة أشرطة القياس، وسيكون عالم هذه الكائنات على عكس عالمنا ثنائي الأبعاد ولكنه مثل عالمنا يمتد إلى مالا نهاية. إن في عالمها متسع لعدد لا نهاية له من المربعات المكونة من قضبان القياس أي أن حجمه (سطحه) لانهائي. وإذا قالت هذه الكائنات إن عالمها مستو فإنها تصدق لأنها تعني بذلك أنها تستطيع تنفيذ إنشاءات الهندسة الإقليدية بأعواد قياسها التي تمثل على الدوام نفس المسافة مهما اختلفت مواضعها.

دعنا الآن نتأمل عالماً آخر ثنائى الإبعاد ولكنه هذه المرة على سطح كروى بدلا من أن يكون على سطح مستو . إن الكائنات المفرطحة وقضبان قياسها ومتعلقاتها الأخرى تتلاءم جيداً مع هـــذا السطح . ولا تستطيع أن تغادره . إن عالمها المرئى يمتد على سطح الكرة دون سواه . فهل تستطيع هذه الكائنات ان تعتبر هندسة عالمها هندسة مستوية وقضبان القياس التى معها تحقيقاً للمسافة ... ؟

إنها لا تستطيع ذلك لأنها إذا حاولت أن تقيم خطاً مستقيماً فإنها ستحصل على منحنى منطو على نفسه ذى طول معين منته يمكن قياسه بوساطة قضبان القياس . وبالمثل نجد أن لهذا مساحة منتهية يمكن مقارنتها بمساحة مربع مكون من قضبان القياس ، وروعة هذا المثل الذى نسوقه تكمن فى أنه يوضح لنا أن « كون هذه الكائنات منته غير محدود » .

ولكن الكائنات التى تعيش على سطح الكرة ليست بحاجة إلى أن تدور حول العالم فى رحلة لكى تتبين أنها لا تعيش فى كون إقليدى . إنها تستطيع أن تجد الدليل على ذلك فى كل جزء من أجزاء « عالمها » ما دامت لا تتقيد بجزء ضئيل منه . فإذا أخذت فى رسم خطوط مستقيمة (وهى أقواس من دوائر بالنسبة لنا أصحاب الفضاء ثلاثى الأبعاد) متساوية الطول ابتداء من نقطة واحدة وفى جميع الاتجاهات فإنها ستسمى الخط الذى يربط نهايات هذه المستقيمات دائرة وعلى السطح المستوى تكون النسبة بين محيط الدائرة ونصف قطرها إذا قيس الطولان بقضيب واحد من قضبان القياس ثابتة تبعاً لهندسة إقليدس المستوية ومقدارها ط وهذا المقدار مستقل عن طول قطر الدائرة ولكن مخلوقاتنا المفرطحة ستجد لهذه النسبة المقدار :

$$\text{ط}\ \frac{\text{جا}\left(\frac{\text{نق}}{\text{نقَ}}\right)}{\frac{\text{نق}}{\text{نقَ}}}$$

أى أصغر قليلا من ط . ويزداد الفرق كلما زاد نصف قطر الدائرة بالنسبة إلى نصف القطر ى « لكرة العالم » . وبوساطة هذه العلاقة تستطيع المخلوقات الكروية أن تحدد نصف قطر كونها « عالمها » ولو كان جزء صغير نسبياً من كرة عالمها هو الذى يمكن أن تتناوله قياساتها . ولكن إذا كان هذا الجزء صغيراً جداً حقاً فسوف لا تستطيع هذه الكائنات أن تثبت أنها على « عالم » كروى لا على مستوى إقليدى لأن الجزء الصغير جداً من سطح الكرة لا يختلف إلا قليلا عن سطح المستوى المساوى له فى الاتساع .

وهكذا إذا كانت المخلوقات التى تعيش على سطح كروى تعيش على كوكب لا تشغل مجموعته الشمسية إلا قدراً ضئيلا من الفضاء الكروى لن يكون فى مقدورها أن تعرف إن كانت تعيش فى كون منته أم لا نهائى لأن « الجزء من الكون » الذى تتناوله أرصاد وأبحاث هذه الكائنات مستوى عملياً فى كلتا الحالتين أي إقليدى . ويتبع ذلك مباشرة أنه بالنسبة للكائنات التى على سطح كروى يتزايد محيط الدائرة أولا تبعا لنصف القطر حتى يصل إلى محيط الكون ولكن إذا استمر نصف القطر فى الازدياد يأخذ عند ذلك المحيط فى التناقص حتى يصل إلى الصفر .

وأثناء هذه العملية تستمر مساحة الدائرة فى الازدياد أكثر فأكثر إلى أن تصبح مساوية للمساحة الكلية لكل « كرة العالم » .

ربما تعجب القارىء لماذا وضعنا « كائناتنا » على كرة لا على أى شكل آخر مغلق . إن لهذا الاختيار سبباً يبرره يتلخص فى أن الكرة من بين كل الأشكال المغلقة الأخرى تنفرد بأن جميع النقط التى عليها متكافئة . إننى أسلم بأن النسبة بين محيط الدائرة ح ونصف قطرها ى تتوقف على نصف قطرها ى ولكن فيما يتعلق بالقيمة الواحدة لنصف القطر تكون هذه

النسبة واحدة بالنسبة إلى جميع النقط التى على سطح « العالم » أو بعبارة أخرى إن كرة العالم سطح ثابت الانحناء .

ويوجد « لكرة العالم » ثنائية الأبعاد هذه مثل ثلاثى الأبعاد هو الفضاء الكروى ثلاثى الأبعاد الذى أكتشفه ريمان ، كل نقطه متكافئة أيضاً وله حجم منته يحدده « نصف قطره » (٢ ط٢ س٣) . ولكن هل من الممكن تصور فضاء كروى ... ؟ إن تصور أى فضاء لا يعنى سوى أن نتصور ملخص تجربتنا فيه ، أى التجربة التى نحصل عليها فى حركة الأجسام « الجاسئة » ، وعلى هذا النحو نستطيع أن نتصور الفضاء الكروى .

تصور أننا نرسم خطوطا أو نمد أوتاراً من نقطة ما إلى جميع الاتجاهات ثم نضع علامة على كل من هذه الخطوط أو هذه الأوتار على بعد س من النقطة بوساطة قضيب قياس .

إن كل نهايات هذه الخطوط أو الأوتار عند هذه العلامات تقع على سطح كروى ونستطيع على الأخص أن نقيس المساحة ف على هذا السطح الكروى بوساطة مربع مكون من قضبان القياس فإذا كان الكون إقليدياً فإن مساحة السطح تساوى ف = ٤ ط س٢ وإذا كان كروياً تكون أقل دائماً من ٤ ط س٢ وكلما زادت قيمة س زادت ف على الصفر إلى أن تصل حد أقصى يحدده « نصف قطر العالم » ولكن إذا زادت قيمة س أكثر من ذلك أخذت المساحة فى التناقص تدريجياً إلى أن تصل أخيراً إلى الصفر . إن الخطوط الخارجة من نقطة الابتداء تبتعد عن بعضها البعض فى أول الأمر أكثر فأكثر ثم تتقارب بعد ذلك وأخيراً تجرى معاً مرة ثانية فى نقطة مقابلة لنقطة الابتداء . وفى هذه الظروف تكون قد عبرت كل الفضاء الكروى . وهكذا يبدو بسهولة أن الفضاء الكروى الثلاثى الأبعاد يشبه الفضاء الكروى ثنائى الأبعاد ، إنه منته (أى منتهى الحجم) وليس له حدود تحده .

ويحسن أن نذكر أنه يوجد نوع آخر من الفضاء المنحنى هو الفضاء الناقصى ، الذى يمكن اعتباره فضاء منحنياً ، النقطتان المتقابلتان فيه متطابقتان ، أى لا يمكن التمييز بينهما بل تامتا التماثل ، وهكذا يمكن اعتبار الكون الناقصى إلى حد ما كوناً منحنياً له تماثل مركزى .

مما تقدم يتضح أنه من الممكن إدراك الفضاءات المقفولة التى ليس لها حد يحدها ومن بينها يعد الفضاء الكروى والفضاء الناقصى أكثرها بساطة لأن جميع نقط أى هذين الفضائين متكافئة . وكنتيجة لما تقدم ينهض أمام الفلكيين وعلماء الفيزياء سؤال على جانب عظيم من الأهمية : هل الكون الذى نعيش فيه لا نهائى أو أنه منته على نحو الكون الكروى .... ؟ إن تجاربنا أقل جداً من أن تسمح لنا بالإجابة عن هذا السؤال ولكن نظرية النسبية العامة تسمح لنا أن نجيب عنه بقدر معقول من التأكيد ـ وهكذا تجد المشكلة التى قابلتنا فى الفصل الثلاثين حلا لها .

الفصل الثانى والثلاثون

بناء الفضاء تبعاً للنظرية النسبية العامة

ليست الخواص الهندسية للفضاء تبعاً لنظرية النسبية العامة مستقلة عن المادة بل إن المادة تحدد هذه الخواص . وعلى ذلك لاسبيل لنا إلى دراسة البناء الهندسى للكون مالم يتوافر لنا مقدماً معرفة حالة المادة فيه كأساس لدراستنا . ونحن نعرف بالتجربة أن سرعات النجوم بالنسبة إلى مجموعة إسناد مناسبة ، صغيرة جداً إذا ماقورنت بسرعة انتشار الضوء . وعلى ذلك نستطيع على وجه التقريب أن نصل إلى رأى عن طبيعة الكون ككل لو عالجنا المادة باعتبارها ساكنة .

ونحن نعلم كما رأينا فى الفصول السابقة أن سلوك قضبان القياس والساعات يتأثر بالمجالات الجاذبية أى بتوزيع المادة وهذا فى حد ذاته يكفى لاستبعاد احتمال أن تكون هندسة الكون إقليدية . ولكنه أمر ميسور الفهم أن الكون الذى نعيش فيه لايختلف إلا قليلا عن الكون الإقليدى وهذه الفكرة تبدو أكثر احتمالا مادامت التقديرات الحسابية تظهر أن قياسات الفضاء المحيط بالمادة لاتتأثر إلا تأثيراً ضعيفاً حتى من أجسام بمثل كتلة الشمس . ويمكن أن نتخيل أن الكون من الناحية الهندسية يسلك سلوك سطح منحن بغير انتظام فى أجزائه الفردية دون أن يبتعد كثيراً فى أى مكان فيه عن المستوى . إنه يبدو كسطح بحيرة متموج ، وكون كهذا يمكن أن يقال عنه إنه شبه إقليدى وإنه من حيث فضاؤه لانهائى . ولكن التقديرات الحسابية تظهر أن كثافة المادة فى كون شبه إقليدى لابد أن تكون صفراً . وهكذا لايمكن أن يكون مثل هذا الكون مأهولا بالمادة فى كل

أجزائه، إنه سيعيد أمامنا الصورة غير المرضية التي رسمناها في الفصل الثلاثين.

فإذا كان لابد أن يكون للمادة فى الكون متوسط كثافة يختلف عن الصفر مهما كان هذا الاختلاف ضئيلا فلابد إذا أن يكون الكون غير إقليدى ولا حتى شبه إقليدى، وعلى العكس تثبت نتائج التقديرات الحسابية أنه إذا انتظم توزيع المادة فإن الكون يكون بالضرورة كرويا (أو ناقصاً) ولما كان توزيع المادة تفصيلا فى الحقيقة ليس منتظماً فإن الكون الحقيقى سينحرف فى أجزائه الفردية عن الكروى أى أن الكون سيكون شبه كروى ولكنه سيكون بالضرورة منتهياً . ولكن النظرية تمدنا فى الواقع بعلاقة[1] بسيطة بين التمدد الفضائى للكون ومتوسط كثافة المادة فيه .

---

١ ـ لنصف القطر نو للكون نحصل على المعادلة $نو^{٢} = \frac{٢}{هـ ث}$ واذا استخدما النظام سم . جرام . ثانية للقياس فى هذه المعادلة حصلنا على $\frac{٢}{هـ} = ١٫٠٨ \times ٢٧١٠$ حيث ث هو متوسط كثافة المـــادة ، هـ ثابت متعلق بثابت نيوتن للجاذبية .

الملاحق

١ — اشتقاق بسيط لتحويل لورنتز

٢ — فضاء منكوفسكى رباعى الأبعاد « عالم »

٣ — التأييد التجريبى لنظرية النسبية العامة

٤ — بناء الفضاء تبعاً لنظرية النسبية العامة

٥ — النسبية ومشكلة الفضاء

الملحق الأول

اشتقاق بسيط لتحويل لورنتز

(تكملة للفصل الحادى عشر)

يجب أن نراعى أن يتطابق باستمرار المحوران السينيان لكل من مجموعتى الإحداثيات الموضحتين فى شكل —٢— . وبذلك يتم بعض التوجيه النسبى لهما . وفى الحالة الحاضرة نستطيع أن نجزىء المسألة إلى أجزاء بأن نضع محل الاعتبار أولا الحوادث التى تقع على المحاور (س) فقط . فأى هذه الحوادث يمثلها بالنسبة إلى مجموعة الإحداثيات (م) الإحداثى س و الزمن ز . وبالنسبة إلى مجموعة الإحداثيات (مَ) الإحداثى سَ والزمن زَ وعلينا أن نجد سَ ، زَ إذا كنا نعلم س ، ز .

إن أية إشارة ضوئية تنتقل على طول المحور الإيجابى س تنتشر وفقاً للمعادلة س = حـ ز

أى س — حـ ز = صفر (١)

ولما كانت نفس الإشارة الضوئية يجب أن تنتشر بالنسبة إلى مَ بالسرعة حـ فعلى ذلك سيكون انتشار الضوء بالنسبة إلى المجموعة مَ وفق المعادلة المماثلة

سَ — حـ زَ = صفر . (٢)

إن تلك النقط الزمكانية (الحوادث) التى تحقق المعادلة (١) لابد أن تحقق المعادلة (٢) أيضاً . وواضح أن هذا يتحقق عندما تتحقق عموماً العلاقة . (سَ — حـ زَ) = ت (س — حـ ز) (٣)

حيث تشير ت إلى ثابت . لأنه تبعاً للمعادلة (٣) نجد أن اختفاء (سَ – حـ زَ) يتضمن اختفاء (س َ – حـ زَ).

وإذا أجرينا المثل على أشعة الضوء التى تنتشر على المحور السلبي س نحصل على الحالة.

(سَ – حـ زَ) = ث (س – حـ ز) (٤)

وإذا جمعنا (أو طرحنا) المعادلات (٣) ، (٤) وأحللنا للسهولة الثوابت ا ، ب محل الثوابت ت ، ث بحيث تكون :

$$ا = \frac{ت + ث}{٢}$$

$$، \quad ب = \frac{ت - ث}{٢}$$

نحصل على المعادلات

$$\begin{cases} سَ = ا س + ب حـ ز \\ حـ زَ = ا حـ ز - ب س \end{cases} \quad (٥)$$

وهكذا يجب أن نحصل على حل المشكلة لو كنا نعلم الثوابت ا ، ب : وهذه الثوابت يمكن معرفتها تبعا لما يلى :

بالنسبة إلى أصل مَ يكون لدينا على الدوام سَ = صفر

وعلى ذلك يكون تبعاً للمعادلة الأولى من المعادلات (٥)

$$سَ = \frac{ب حـ}{ا} ز$$

وإذا رمزنا بالرمز ع إلى السرعة التى يتحرك بها أصل مَ بالنسبة إلى م

يكون : $ع = \frac{ب حـ}{ا}$ (٦)

ونفس القيمة ع يمكن الحصول عليها من المعادلات (٥) إذا حسبنا سرعة نقطة أخرى من مَ بالنسبة إلى م أو السرعة (الموجهة نحو المحور السيني السلبي) لنقطة على م بالنسبة إلى مَ . وباختصار نستطيع أن نسمى ع السرعة النسبية للمجموعتين .

وفوق ذلك فإن مبدأ النسبية يعلمنا أن طول وحدة القياس الساكنة بالنسبة إلى مَ كما يبدو لراصد على م يجب أن يكون هو نفس طول وحدة القياس الساكنة بالنسبة إلى م كما يبدو لراصد على مَ . ولكى نرى كيف تظهر نقط المحور سَ لراصد على م فإننا نحتاج فقط إلى التقاط صورة خاطفة (لقطة سريعة) للمجموعة مَ من المجموعة م . ومعنى هذا أنه يجب علينا أن ندخل قيمة خاصة ز (ز من م) أى ز = صفر ولهذه القيمة من ز نحصل من المعادلة الأولى (٥) على :

$$س َ = ا س$$

وعلى ذلك تكون النقطتان اللتان تفصلهما على المحور س المسافة △س = ١ مقيسة فى المجموعة مَ مفصولتين فى اللقطة الخاطفة أو الصورة اللحظية بالمسافة :

$$\triangle س = \frac{١}{ا} \qquad (٧)$$

ولكن إذا أخذت اللقطة السريعة من مَ (زَ = صفر) وإذا استبعدنا زمن المعادلات (٥) وأدخلنا فى اعتبارنا التعبير (٦) حصلنا على :

$$س َ = ا \left(١ - \frac{ع^٢}{حـ^٢} \right) س$$

ومن هذا نستخلص أن نقطتين على المحور س تفصلهما المسافة ١ (بالنسبة إلى م) سيمثلهما فى الصورة الخاطفة التى أخذناها المسافة :

$$\triangle س َ = ا \left(١ - \frac{ع^٢}{حـ^٢} \right) \qquad (١٧)$$

ولـكن لا بد تبعاً لما تقدم ذكره أن تـكون الصورتان متماثلتين وعلى ذلك لابد أن تـكون △ س فى (٧) متساوية مع △سَ فى (١٧ بحيث نحصل على :

$$ا^٢ = \frac{١}{١ - \frac{ع^٢}{حـ^٢}} \qquad (٧ب)$$

والمعادلتان (٦) ، (٧ ب) تحددان الثابتين ا ، ب . وإذا أدخلناقيمة هذين الثابتين فى (٥) نحصل على المعادلة الأولى والرابعة اللتن سبق ذكرهما فى الفصل الحادى عشر .

$$\left.\begin{aligned} سَ &= \frac{س - ع ز}{\sqrt{١ - \frac{ع^٢}{حـ^٢}}} \\ زَ &= \frac{ز - \frac{ع}{حـ^٢} س}{\sqrt{١ - \frac{ع^٢}{حـ^٢}}} \end{aligned}\right] \qquad (٨)$$

وهكذا حصلنا على تحويل لورنتز بالنسبة إلى الحوادث على المحور س وهو يحقق الشرط :

$$سَ^٢ - حـ^٢ زَ^٢ = س^٢ - حـ^٢ ز^٢ \qquad (٨ا)$$

وامتداد هذه النتيجة ليشمل الحوادث التى تقع خارج المحور س يمكن الحصول عليه بالاحتفاظ بالمعادلات ٨) وتزويدها بالعلاقات :

$$\left.\begin{aligned} صَ &= ص \\ هـَ &= هـ \end{aligned}\right] \qquad (٩)$$

وبهذه الطريقة تحقق الفرض الذى ينص على أن سرعة الضوء ثابتة فى الفراغ (مهما كان اتجاه اشعته) بالنسبة إلى كلا المجموعتين م ، مَ . ويمكن توضيح ذلك كما يلى :

دعنا نتخيل أن إشارة ضوئية أرسلت من أصل م فى الوقت ز = صفر إنها سوف تنتشر تبعاً للمعادلة :

$$\text{ح} = \sqrt{\text{س}^{2} + \text{ص}^{2} + \text{سہ}^{2}} = \text{حـ}\,\text{ز}$$

وإذا ربعنا هذه المعادلة نجد أن الإشارة الضوئية ستنتشر تبعاً للمعادلة.

$$\text{س}^{2} + \text{ص}^{2} + \text{سہ}^{2} - \text{حـ}^{2}\text{ز}^{2} = \text{صفر} \qquad (١٠)$$

ويستوجب قانون انتشار الضوء مرتبطاً مع فرض النسبية أن يحدث انتقال الإشارة الضوئية — وذلك كما يبدو بالنسبة إلى المجموعة مَ — تبعاً للتعبير المناظر :

$$\text{حَ} = \text{حـ}\,\text{زَ}$$

$$\text{أو} \quad \text{سَ}^{2} + \text{صَ}^{2} + \text{سہَ}^{2} - \text{حـ}^{2}\text{زَ}^{2} = \text{صفر} \qquad (١٠ أ)$$

وحتى تكون المعادلة (١٠ أ) نتيجة للمعادلة (١٠ يجب أن يكون :

$$\text{سَ}^{2} + \text{صَ}^{2} + \text{سہَ}^{2} - \text{حـ}^{2}\text{زَ}^{2} = \phi\,(\text{س}^{2} + \text{ص}^{2} + \text{سہ}^{2} - \text{حـ}^{2}\text{ز}^{2}) \qquad (١١)$$

ولما كانت المعادلة (٨ أ) يجب أن تنطبق على النقط التى على المحور س فإننا هكذا نحصل على ϕ = ١ ومن السهل أن نرى أن تحويل لورنتز يحقق فعلا المعادلة (١١) عندما تكون ϕ = ١ لأن (١١) نتيجة للمعادلات (٨ أ) ، (٩) وعلى ذلك فهى أيضاً نتيجة للمعادلات ٨ ، (٩) ، وهكذا نكون قد قمنا باشتقاق تحويل لورنتز .

وتحويل لورنتز الذى تمثله المعادلتان (٨) ، (١٠) لا يزال بحاجة إلى أن يعمم . فمن الواضح أنه ليس حتما أن نختار محاور مَ بحيث تتوازى

مكانياً مع محاور م ، وليس محتما أيضاً أن تكون سرعة انتقال مَ بالنسبة إلى م فى اتجاه المحور س . وإذا أمعنا الفكر قليلا نرى أننا نستطيع أن نبنى تحويل لورنتز بهذا المعنى العام من نوعين من التحويلات هما تحويلات لورنتز بالمعنى الخاص ، ومن التحويلات المكانية البحتة الأمر الذى يناظر استبدال مجموعة الإحداثيات قائمة الزوايا بمجموعة جديدة تتجه محاورها فى اتجاهات أخرى . ونستطيع رياضياً أن نصف تحويل لورنتز المعمم كما يلى :

أنه يعبر عن $\bar{\text{س}}$ ، $\bar{\text{ص}}$ ، $\bar{\text{سه}}$ ، $\bar{\text{ز}}$ فى حدود الدوال الخطية المتماثلة للمقادير س ، ص ، سه ، ز بشكل يجعل العلاقة :

$$\bar{\text{س}}^2 + \bar{\text{ص}}^2 + \bar{\text{سه}}^2 - \text{ح}^2 \bar{\text{ز}}^2 = \text{س}^2 + \text{ص}^2 + \text{سه}^2 - \text{ح}^2 \text{ز}^2 \qquad (111)$$

تتحقق بذاتها . أى أننا إذا أحللنا تعبيراتها فى حدود س ، ص ، سه ، ز محل $\bar{\text{س}}$ ، $\bar{\text{ص}}$ ، $\bar{\text{سه}}$ ، $\bar{\text{ز}}$ فى الشق الأيسر فإن الشق الأيسر من (١١١) يتفق مع الشق الأيمن عند ذلك .

الملحق الثانى

فضاء منكوفسكى رباعى الأبعاد

(تكملة الفصل السابع عشر)

من الممكن أن نحدد معالم تحويل لورنتز بطريقة أكثر بساطة مما تقدم إذا نحن أدخلنا الكمية الخيالية $\sqrt{-1}\,\text{ح}\,\text{ز}$ محل ز كمتغير الزمن . وإذا أدخلنا متفقا مع هذا :

$$\text{س}_1 = \text{س}$$

$$\text{س}_2 = \text{ص}$$

$$\text{س}_3 = \text{ع}$$

$$\text{س}_4 = \sqrt{-1}\,\text{ح}\,\text{ز}$$

وبالمثل للمجموعة مَ . عند ذلك يمكن التعبير عن الشرط الذى تحقق بالذات هكذا :

$$\bar{\text{س}}_1^2 + \bar{\text{س}}_2^2 + \bar{\text{س}}_3^2 + \bar{\text{س}}_4^2 = \text{س}_1^2 + \text{س}_2^2 + \text{س}_3^2 + \text{س}_4^2 \qquad (١٢)$$

أى أنه عن طريق هذا الاختيار للإحداثيات تتحول المعادلة (١١ا) إلى هذه المعادلة (١٢) .

ونرى من المعادلة ١٢ أن الإحداثى الزمنى الخيالى س_4 يدخل فى شرط التحويل بنفس الطريقة التى تدخل بها الإحداثيات س_1، س_2، س_3 ونتيجة لهذه الحقيقه يدخل « الزمن » س_4 تبعاً لنظرية النسبية فى القوانين الطبيعية بنفس شكل إحداثيات المكان س_1، س_2، س_3 .

ولقد سمى منكوفسكى للمتصل رباعى الأبعاد الذى تصفه «الإحداثيات» $س_1$، $س_2$، $س_3$، $س_4$ « عالماً » كما سمى « نقطة حادثة » « بنقطة عالم » ومن « حدوث » فى فضاء ثلاثى الأبعاد تتحول الفزياء كما لو كانت « وجوداً » فى « العالم » رباعى الأبعاد .

وهذا « العالم » رباعى الأبعاد يحمل فى طياته تماثلا قريباً من الفضاء ثلاثى الأبعاد فى هندسة إقليدس التحليلية . فإذا أدخلنا فى هذا الأخير مجموعة إحداثيات كارتيزية جديدة ($\bar{س}_1$، $\bar{س}_2$، $\bar{س}_3$) بنفس الأصل فإن $\bar{س}_1$، $\bar{س}_2$، $\bar{س}_3$ تكون دوال خطية متماثلة لـ $س_1$، $س_2$، $س_3$ التى تحقق بذاتها المعادلة $\bar{س}_1^2 + \bar{س}_2^2 + \bar{س}_3^2 = س_1^2 + س_2^2 + س_3^2$.

والتماثل مع (١٢) تماثل تام . ويمكننا أعتبار « عالم » منكوفسكى بطريقة شكلية فضاءً إقليدياً رباعى الأبعاد (له إحداثى زمانى خيالى) ويكون تحويل لورنتز مناظراً « لدوران » مجموعة الإحداثيات فى «العالم» رباعى الأبعاد .

الملحق الثالث

الإثبات التجريبي لنظرية النسبية العامة

نستطيع أن نتخيل من الناحية النظرية المنظمة عملية تطور علم من العلوم الوصفية على أنها فى الواقع عملية استقراء مستمرة . إننا نضع النظريات ونصوغها فى عبارة وجيزة . وهى تضمينات لعدد كبير من الملاحظات الفردية فى صورة قوانين وصفية . ومن هذه النظريات نستطيع تأكيد القوانين العامة عن طريق المقارنة . من هنا ترى أن نمو وتقدم علم من العلوم يشبه شبهاً كبيراً عملية وضع أو إنشاء فهرس مبوب . إنه يبدو كما لو كان أمراً وصفياً محضاً .

ولكن هذا الرأى رأى ضيق الأفق فهو لا يحيط أبداً بكل نواحى العملية فى الواقع ؛ لأنه يغض النظر عن الدور الهام الذى يلعبه الحدس والفكر الاستنباطى فى نمو علم من العلوم المضبوطة . إذ بمجرد أن يخطو علم ما من هذه العلوم خطواته الأولى لا تعد خطوات تقدمه النظرى التالية تتم عن طريق مجرد التبويب؛ لأن الباحث متأثراً بالمدلولات التجريبية يميل إلى اتخاذ منهج فكرى يعتمد منطقياً على عدد صغير من الفروض الأساسية التى تسمى بديهيات . ومثل هذا المنهج أو المذهب الفكرى يسمى نظرية . والمبرر الوحيد لوجود النظرية هو أنها تنتظم عدداً كبيراً من المشاهدات المفردة . وفى هذا الأمر بالذات يكمن « صدق » النظرية .

وقد يقابل المجموعة المتشابكة الواحدة من المعطيات الوصفية عدة نظريات قد تختلف فيما بينها إلى حد بعيد . ولكن هذه النظريات من ناحية الاستنتاجات التى تشتق منها والتى يمكن اختبارها عملياً قد يكون الاتفاق بينها تاماً بحيث يتعذر العثور على استنتاج واحد تختلف حوله

هذه النظريات . ومن أمثلة ذلك حالة مشهورة فى علم الحياة يهتم لها الكثيرون هى نظرية داروين فى أصل الأنواع وتطورها عن طريق بقاء الأصلح فى معترك الوجود . والنظرية الأخرى فى تطور الأنواع على أساس انتقال الخواص المكتسبة وراثياً .

وهناك مثال آخر لذلك – هو الاتفاق البعيد المدى فى الاستنتاجات من نظريتين فى الميكانيكا النيوتونية من ناحية ونظرية النسبية العامة من الناحية الأخرى . وهذا الاتفاق يذهب بعيداً إلى حد أننا إلى الآن لم نعثر إلا على استنتاجات قليلة يمكن وضعها موضع البحث والاختبار ولا تؤدى إليها أيضا فزياء ما قبل النسبية . وهذا على الرغم من الاختلاف العميق بين الفروض الأساسية للنظريتين . وسنتأمل فيما يلى مرة ثانيـــة هذه الاستنتاجات الهامة وسنناقش الشواهد التجريبية التى حصلنا عليها إلى الآن ، والتى تتعلق بها .

(أ) حركة حضيض مسار عطارد :

يجب أن يدور الكوكب الذى يدور حول الشمس وذلك تبعاً لميكانيكا نيوتن وقانون نيوتن للجاذبية فى قطع ناقص حولها أو بعبارة أصح حول مركز الثقل المشترك للكوكب والشمس . وفى مثل هذه المجموعة تقع الشمس أو مركز الثقل المشترك فى إحدى بؤرتى القطع بحيث يأخذ البعد الشمس – الكوكب فى التزايد من حد أدنى إلى حد أقصى ثم يتناقص ثانية إلى الحد الأدنى وذلك خلال سنة كوكبية[1] ولو أننا أحللنا محل قانون نيوتن قانوناً آخر للجذب مختلفاً بعض الشىء لوجدنا فى التقدير الحسابى أن الحركة ستظل تحدث تبعاً لهذا القانون الجديد بحيث يظل البعد

---

(١) هذا هو ما يسمى أحيانا بالأوج والحضيض (المترجم)

الكوكب — الشمس دورى التغير . ولكن فى هذه الحالة ستكون الزاوية المحصورة بين الخطين الواصلين من الشمس إلى الكوكب فى أول هذه الفترة ثم فى نهايتها (أى من حضيض — أقرب نقطة إلى الشمس — إلى حضيض تال) تختلف عن ٣٦٠ درجة ولن يكون خط المدار خطاً مقفولا بل إنه مع الزمن سيملأ جزئياً حلقياً من مستوى المدار . أعنى بين دائرة أقل بعد للكوكب ودائرة أكبر بعد له عن الشمس .

وتبعاً لنظرية النسبية العامة التى تختلف طبعاً عن نظرية نيوتن نجد أن تغييراً صغيراً عن حركة نيوتن — كبلر لكوكب ما فى مداره يجب أن تحدث. بحيث تكون الزاوية المحصورة بين القطر الشمس — الكوكب فى الحضيض. والذى يليه تزيد على الزاوية التى تناظر دورة كاملة بمقدار يحدده.

$$+\frac{\text{٢٤ ط}^{\text{٣}}\,\text{ا}^{\text{٢}}}{\text{ر}^{\text{٢}}\,\text{ح}^{\text{٢}}\,(\text{١} - \text{ى}^{\text{٢}})}$$

ملاحظة : تقابل دورة كاملة الزاوية ٢ ط فى القياس المطلق للزوايا المستعمل فى الفزياء . والتعبير عاليه يحدد المقدار الذى يزيد به قطر الشمس — الكوكب على هذه الزاوية خلال الفترة بين حضيض والذى يليه . وفى هذا التعبير ترمز ا لنصف المحور الأكبر للقطع الناقص ، ى إلى بروزه ، ح إلى سرعة الضوء ، ر إلى مدة دورة الكوكب . ويمكن وضع هذه النتيجة على هذا النحو أيضاً : إن المحور الأكبر للقطع الناقص يدور تبعاً لنظرية النسبية العامة حول الشمس على نحو الحركة المدارية للكوكب ، وتستوجب نظرية النسبية أن يكون هذا الدوران بمقدار ٤٣ ثانية من القوس فى القرن بالنسبة للكوكب عطارد ، أما بالنسبة للكواكب الأخرى فى مجموعتنا الشمسية فإن مقداره تبعاً لنظرية النسبية لا بد وأن يكون صغيراً جداً بحيث لا يسهل الاستدلال عليه[1] .

(١) خصوصا وان الكوكب التالى وهو الزهرة له مدار يكاد يطابق الدائرة مما يجعل تحديد الحضيض أمرا بالغ الصعوبة (الحضيض هو الموقع الذى يكون فيه الكوكب اقرب ما يكون الى الشمس) .

ولقد وجد الفلكيون فى الحقيقة أن نظرية نيوتن ليست كافية لحساب حركة عطارد التى كشفت عنها الأرصاد بدقة تناظر الدقة والحساسية التى وصلت إليها الأرصاد حالياً . ولقد وجد كل من لوفربيه سنة ١٨٥٩ ونيوكامب سنة ١٨٩٥ أنه بعد وضع كل عوامل الاضطراب المؤثرة على عطارد بوساطة بقية الكواكب محل الاعتبار قد تبقت حركة حضيضية لا تفسير لها مقدارها لا يختلف كثيراً عن المقدار المذكور عاليه وهو + ٤٣ ثانية القوس فى القرن . وكان مقدار التقريب فى هذه النتيجة لا يتجاوز ثوان قليلة فقط .

(ب) انحناء الضوء تحت تأثير مجال الجاذبية :

لقد ذكرنا فى الفصل الثانى والعشرين أن نظرية النسبية العامة تنص على أن شعاع الضوء ينحرف عن طريقه عند مروره فى مجال جاذبى . وهذا الانحراف يشبه ما يعانيه مسار جسم قذف فى مجال جاذبى . ولذلك يجب أن نتوقع أن ينحرف شعاع الضوء الذى يمر قريباً من جرم سماوى نحو هذا الجرم . وزاوية الانحراف الذى يعانيه شعاع ضوئى يمر قريباً من الشمس على مسافة △ نصف قطر الشمس من مركزها يجب أن يكون مقدارها :

$$ا = \frac{\text{١٫٧ ثانية من القوس}}{\triangle}$$

ويمكن هنا أن نضيف إلى ما تقدم أنه تبعاً للنظرية يكون نصف هذا الانحراف ناشئاً عن المجال النيوتونى لجاذبية الشمس والنصف الآخر ناشئاً عن التغير الهندسى للفضاء (الانحناء) الذى تحدثه الشمس .

وهذه النتيجة مما يمكن التحقق منها عملياً بوساطة التسجيل الفوتوغرافى لمواقع النجوم أثناء الكسوف الكلى للشمس والسبب الوحيد الذى يضطرنا إلى انتظار فترة كسوف الشمس هو أنه فى الأوقات الأخرى تكون السماء

مضاءة بشدة بضوء الشمس لدرجة تجعل النجوم القريبة الموضع من قرص الشمس متعذرة الرؤية . والأثر الذى تتنبأ به نظرية النسبية العامة يمكن فهمه بوضوح من الشكل التوضيحي المرافق لهذا . فإذا لم تكن الشمس موجودة فإن نجماً بعيداً لدرجة لا نهائية عمليا يرى فى الاتجاه ء، إذا رصد من الأرض ولكنه نتيجة لانحراف الضوء الصادر من النجم بوساطة الشمس فإنه سيرى فى الاتجاه ء٢ أى على بعد من مركز الشمس أكبر قليلا مما يناظر موقعه الحقيقى .

والطريقة العملية لإجراء هذا الاختبار هى تصوير النجوم التى فى جوار الشمس أثناء كسوفها ثم تؤخذ صور أخرى لنفس تلك النجوم عندما تكون الشمس فى موضع آخر من السماء أى بعد أو قبل ذلك بشهور قليلة . فإذا قورنت هذه الصورة بالصورة القياسية فإن مواقع هذه النجوم على الصورة أثناء الكسوف يجب أن تبدو مزحزحة قطرياً إلى الخارج (بعيداً عن مركز الشمس) بمقدار يساوى الزاوية ا .

ء٢ ء١ ش ء٢ ء١ ف

(شكل ٥)

ونحن مدينون للجمعية الملكية والجمعية الفلكية الملكية باختبار هذا الاستنتاج المهم . فلقد قامت هاتان الجمعيتان ولم تقعدهما الحرب ولا الصعاب المادية أو النفسية التى أثارتها هذه الحرب فأرسلتا بعثتين واحدة إلى سوبرال (البرازيل) والأخرى إلى جزر برنسيب فى غرب أفريقيا . وأرسلتا عدداً من أشهر الفلكيين البريطانيين (ادنجتون وكننجهام وكروملين ودافيدسن) لكى تحصل على الصور الفوتوغرافية لكسوف الشمس يوم ١٩١٩/٥/٢٩ . ولقد كانت الفروق المنتظر وجودها بين الصور الفوتوغرافية للنجوم أثناء كسوف الشمس وصور المقارنة تبلغ من الصغر حد أجزاء قليلة من المائة من المليمتر فقط، وهكذا كان لزاماً أن تراعى الدقة البالغة والحساسية الفائقة فى التقاط الصور ثم إجراء القياسات بعد ذلك .

ولقد أيدت نتائج هذه القياسات نظرية النسبية بطريقة تبعث على الرضا والارتياح التامين . والجدول التالى يوضح النتائج وهى تشمل المركبات قائمة الزوايا للانحرافات تبعاً للتقدير الحسابى استناداً إلى النظرية والمقادير التى وجدت عمليا فى التجربة بالقياس .

رقم النجم	الإحداثى الأول		الإحداثى الثانى	
	تبعا للتجربة	حسابيا	تجريبيا	حسابيا
١١	−٠,١٩	−٠,٢٢	+٠,١٦	+٠,٠٢
٥	+٠,٢٩	+٠,٣١	+٠,٤٦	+٠,٤٣
٤	+٠,١١	+٠,١٠	+٠,٨٣	+٠,٧٤
٣	+٠,٢٠	+٠,١٢	+١,٠٠	+٠,٨٧
٦	+٠,١٠	+٠,٠٤	+٠,٥٧	+٠,٤٠
١٠	+٠,٠٨	+٠,٠٩	+٠,٣٥	+٠,٣٢
٢	+٠,٩٥	+٠,٨٥	٠,٢٧	−٠,٠٩

(حـ) انتقال خطوط الطيف نحو الأحمر

لقد أوضحنا فى الفصل الثالث والعشرين أنه فى مجموعة الإسناد مَ التى فى حالة دوران بالنسبة إلى مجموعة إسناد جاليلية م تسير الساعات متماثلة البناء والتى تعتبر فى حالة سكون بالنسبة إلى مجموعة الإسناد الدوارة بمعدلات تعتمد على مواقع الساعات وسنختبر الآن مدى هذا الاعتماد ومقداره كمياً. إن الساعة التى توضع على المسافة ف من مركز القرص يكون لها سرعة بالنسبة إلى م يحددها :

$$ع = عـ ف$$

حيث تكون عـ السرعة الزاوية لدوران القرص م بالنسبة إلى م فإذا كانت غ تمثل عدد دقات الساعة من الزمن (« معدل » الساعة) بالنسبة

إلى م عندما تكون الساعة فى حالة السكون فإن « معدل » الساعة $غ_.$ عندما تكون متحركة بالنسبة إلى م بالسرعة ع ولكنها ساكنة بالنسبة إلى القرص سيكون تبعاً للفصل الثانى عشر تبعاً للمعادلة :

$$غ = غ_. \sqrt{1 - \frac{ع^2}{حـ^2}}$$

أو تحدده بدقة كافية المعادلة ٠

$$غ = غ_. \left(1 - \frac{1}{حـ^2} \frac{ع^2 ف^2}{2}\right)$$

وإذا رمزنا إلى فرق الجهد لقوة الطرد المركزية بين موضع الساعة ومركز القرص بالرمز سه أى الشغل باعتبار سلبى الذى يجب أن يتم على وحدة الكتلة ضد قوة الطرد المركزية لكى ينقلها من موضع الساعة على القرص الدائر إلى مركز القرص . عند ذلك نحصل على :

$$ش = \frac{ع^2 ف}{2}$$ ومنه نرى :

أن $غ = غ_. \left(1 + \frac{ش}{حـ^2}\right)$

ومن هذا التعبير نرى أولا أن ساعتين متماثلتى التركيب تسيران بمعدلين مختلفين عندما توضعان على مسافات مختلفة من مركز القرص وهذه النتيجة صحيحة بالنسبة لراصد يدور مع القرص .

والآن نجد أن القرص واقع بالنسبة لراصد عليه فى مجال جاذبى جهده ش ولذلك تنطبق النتيجة التى حصلنا عليها عاليه على المجالات الجاذبية جيداً . وفوق ذلك فإننا نستطيع أن نعتبر الذرة التى تصدر عنها خطوط الطيف مثلها مثل الساعة ولهذا نجد أن العبارة التالية صحيحة :

« تصدر الذرة أو تمتص ضوءاً يتوقف تردده على جهد المجال الجاذبي الذى تقع فيه الذرة » .

وتردد ذرة على سطح جرم سماوى سيكون أقل قليلا من تردد ذرة من نفس العنصر موجودة فى الفضاء الحر أو على سطح جرم سماوى أصغر)

والآن نجد أن ش = - ل $\frac{ك}{ف}$ حيث ل ثابت نيوتن للجاذبية ، ك كتلة الجرم السماوى . وهكذا نجد أن خطوط الطيف يجب أن تنتقل نحو الأحمر على سطوح النجوم مقارنة بخطوط الطيف لنفس العنصر على الأرض ومقدار هذا الانتقال هو :

$$\frac{غ. - غ}{غ.} = \frac{ك ل}{ح^{2} ف}$$

ولقد وجد أن مقدار الانتقال نحو الأحمر بالنسبة للشمس كما تتنبأ به النظرية يبلغ حوالى جزءين من مليون من طول الموجة . وليس من الممكن الحصول على تقدير يوثق به لهذا المقدار بالنسبة للنجوم لأننا على العموم نجهل كل من الكتلة والقطر بالنسبة لها .

ومسألة وجود هذا الأثر أو عدم وجوده مسألة لم تتقرر بصفة نهائية حتى الآن (سنة ١٩٢٠) ويعمل الفلكيون بهمة عظيمة وحماس بالغ للوصول إلى حلها . وبالنسبة إلى ضآلة الأثر فى حالة الشمس نجد أنه من الصعب جداً أن نكوّن رأياً عن وجوده فبينما يضع جرب وباكم (بون) كنتيجة لقياساتها شخصياً وقياسات أفرشد وشوارتز تشيلد على الحزم السيانورية وجود هذا الأثر فوق كل شك نجد علماء آخرون على الأخص سانجون قد انتهوا إلى الرأى المضاد تبعاً لقياساتهم .

إن متوسط انتقالات الخطوط الطيفية نحو الجزء الأقل حيوداً من الطيف تكشف عنه بكل تأكيد الأبحاث الإحصائية على النجوم الثابتة

ولكن لا يسمح لنا إلى الآن فحص المدلولات الممكن الحصول عليها باتخاذ قرار محدد فيما إذا كانت هذه الانتقالات واجبا إرجاعها فى الحقيقة إلى تأثير الجاذبية أم لا . ولقد جمعت نتائج الأرصاد معا ونوقشت بالتفصيل من وجهة نظر المسألة التى شغلت انتباهنا هنا فى بحث ممتع قام به فرويندلش[1]

على أية حال سوف نصل إلى قرار حاسم فى السنوات القليلة القادمة فإذا كان انتقال خطوط الطيف نحو الأحمر بتأثير الجهد الجاذبى غير موجود فإن نظرية النسبية تصبح مرفوضة لامحل لقبولها أما إذا كان سبب هذا الانتقال يمكن إرجاعه بالتحديد إلى الجهد الجاذبى فإن دراسة هذا الانتقال ستمدنا بمعلومات قيمة عن كتلة الأجرام السماوية .

ملحوظة : لقد أثبت آدمز انتقال خطوط الطيف نحو الطرف الأحمر فى سنة ١٩٢٤ بأرصاد قام بها على سيريس شديد الكثافة حيث تبلغ كثافته ثلاثين ضعفاً لكثافة الشمس .

---

(١) انظر البحث :
"Zur Prüfung der allgemeinen Relativitats Theorie"
فى مجلة
Naturwissenschaften 1919 No. 35, p. 250, "Julius Springer Berlin".

الملحق الرابع

بناء الفضاء تبعاً لنظرية النسبية العامة

(تكملة الفصل الثانى والثلاثون)

لقد تقدمت معلوماتنا عن الفضاء العام (المشكلة الكونية) منذ صدور الطبعة الأولى من هذا الكتاب تقدماً هاماً يجدر ذكره حتى فى عرض مبسط للموضوع .

لقد كانت نظرتى الأولى للموضوع تستند إلى فرضين :

١ — هناك متوسط كثافة للمادة فى كل الفضاء وهو واحد فى جميع أجزاء الفضاء يختلف مقداره عن الصفر .

٢ — اتساع الفضاء (« نصف قطره ») مستقل عن الزمن .

ولقد تبين أن هذين الفرضين منسجمان تبعاً لنظرية النسبية العامة ولكن بعد إضافة حد افتراضى إلى معادلات المجال . وهو حد لم تكن النظرية فى حد ذاتها فى احتياج إليه كما لم يكن يبدو من وجهة النظر النظرية طبيعياً (« الحد الكونى فى معادلات المجال ») .

أما الفرض الثانى فقد بدا لى أنه لا مفر منه فى ذلك الحين لأننى كنت أظن أن المرء يتعرض لفيض من المزاعم لا نهاية له لو ابتعد عنه وأسقطه .

ومع ذلك فقد كان فريدمان الرياضى الروسى قد أوضح فى العشرينات من هذا القرن أن فرضاً آخر كان طبيعياً من زاوية نظرية بحتة . لقد أدرك أنه كان ممكناً الاحتفاظ بالفرض الأول دون إدخال الحد الكونى المتكلف

فى معادلات المجال الجاذبية إذا كنا على استعداد للتخلى عن الفرض الثانى - أى أن معادلات المجال الأصلية تقبل حلا يتوقف فيه « نصف قطر العالم » على الزمن (تمدد الفضاء) وبهذا المعنى يمكن القول مع فريدمان إن نظريته تستوجب تمدد الفضاء .

لم تمض بعد ذلك سوى سنوات قلائل حتى استطاع هبل أثناء بحث خاص عن سدم نهر المجرة أن يوضح أن خطوط الطيف يظهر فيها انتقال نحو الأحمر يزداد بانتظام مع بعد هذه السدم ، ولا يمكن تفسير هذا الأمر تبعاً لمعلوماتنا الراهنة إلا وفق مبدأ دوبلر أى باعتباره حركة تمدد بين النجوم كما تستوجبه — تبعا لفريدمان — معادلات الجاذبية . وعلى ذلك يعتبر اكتشاف هبل تأييداً للنظرية ولو إلى حد ما ولو أنه ظهر تبعا لذلك أنه يثير مشكلة على وجه كبير من الغرابة .

إن تفسير انتقال خطوط الطيف نحو الأحمر الذى اكتشفه هبل فى سدم المجرة على أنه تمدد (وليس من السهل إنكار ذلك من الناحية النظرية) يؤدى بنا إلى الاعتقاد بأن بداية هذا التمدد كانت منذ ١٠^٩ سنة فقط بينما يبدو تبعاً للفلك الفزيائى أن تكوين النجوم والمجموعات النجمية استغرق وقتا أطول من ذلك بكثير وليس هناك بارقة أمل تشير إلى الطريقة التى سنتغلب بها على هذا النشوز الفريد .

وأود فوق ذلك أن أبدى ملحوظة بأن نظرية الفضاء المتمدد هى والمدلولات التجريبية للفلك معاً لا تسمحان باتخاذ قرار حول طابع نهاية أو لا نهاية الفضاء (ثلاثى الأبعاد) بينما يخضع الفرض « الاستاتيكى » الأصلى الفضاء لإغلاق الفضاء (نهائيته) .

الملحق الخامس

النسبية ومشكلة الفضاء

من سمات فيزياء نيوتن البارزة أنه كان عليها أن تعطى كلا من الزمان والمكان وجوداً مستقلا وحقيقياً مثل ما للمادة لأن فكرة العجلة تظهر فى قانون نيوتن للحركة . ولكن العجلة لا يمكن أن تشير فى هذه النظرية إلا إلى العجلة بالنسبة إلى المكان .

وهكذا لا مندوحة من اعتبار المكان بالنسبة إلى نيوتن كما لو كان ساكناً أو على الأقل ليس معجلا حتى يمكن لنا أن نعتبر العجلة التى تظهر فى قانون الحركة مقداراً له معنى ما . وينطبق هذا أيضاً على الزمن الذى يدخل طبعاً هو الآخر فى تصور العجلة . ولقد شعر نيوتن نفسه وأكثر معاصريه تحرراً بأكبر الحرج من وجوب إعطاء كل من « المكان » نفسه وكذلك حالته من الحركة واقعاً فيزيائيا . . ولكنه لم يكن هناك بد من ذلك فى تلك الأيام لكى تحتفظ الميكانيكا بمعنى واضح .

إنه حقاً ضرب من المغالاة والتعنت أن نعطى المكان عموماً حقيقة فيزيائية خصوصاً الفضاء الفارغ ولهذا كان الفلاسفة منذ أقدم العصور يرفضون مراراً وتكراراً مثل هذا الفرض . خذ مثلا ديكارت لقد كان يرى أن الفضاء صنو للامتداد والامتداد متعلق بالأجسام وعلى ذلك لا يمكن أن يكون هناك فضاء دون أجسام أى أنه ليس هناك فضاء فارغ » وضعف هذه الحجة يكمن أصلا فيما يلى : من المؤكد أن التصور امتداد

تولد أصلا عن تجاربنا فى إبعاد أو تقريب الأجسام الجاسئة من بعضها البعض ولكننا لا نستطيع استناداً إلى هذا أن نقطع أن تصور الامتداد لا تؤيده حالات أخرى لم تشترك بذاتها فى تكوينه . ومثل هذا التوسيع فى التصورات يمكن أن تبرره فائدته وجدواه فى تفسير النتائج التجريبية .

من هذا نرى أن التأكيد بأن الامتداد وقف على الأجسام تأكيد فى حد ذاته لا أساس له من الصحة . ومع ذلك سوف نرى فيما بعد أن نظرية النسبية العامة تذهب تقريباً إلى ماذهب إليه ديكارت . إن الدافع الذى حدا بديكارت إلى اتخاذ هذا الرأى الخلاب جداً هو شعوره بأنه لايجوز أن نعطى جزافاً حقيقة لشىء مثل الفضاء لا يمكن « مكابدته مباشرة »[1] .

إن الأصل السيكولوجى لفكرة الفضاء أو للزومها بعيد جداً عن الوضوح ولو أننا كثيراً مانظن انسياقاً مع مألوف عاداتنا الفكرية أنه أمر واضح للعيان . لقد كان القدامى من علماء الهندسة يعالجون أشياء تصورية (الخط المستقيم والنقط والسطح) لا الفضاء بالذات . إنما حدث هذا بعد ذلك فى الهندسة التحليلية . وفكرة الفضاء برغم هذا فكرة توحى بها إيحاءً قوياً بعض التجارب البدائية البسيطة . تخيل أننا صنعنا صندوقاً . أننا نستطيع أن نرتب الأشياء بطريقة معينة داخل الصندوق حتى يمتلىء وإمكان مثل هذه الترتيبات أمر يتعلق بالشىء المادى الصندوق . إنه شىء ملازم للصندوق وإنه الفضاء الذى يحتويه الصندوق وهو شىء يختلف باختلاف الصناديق . شىء يعتقد طبعاً أنه مستقل عن كون الصندوق به أو ليس به إطلاقاً فى أية لحظة أى أجسام وعندما لايكون فى الصندوق أشياء يبدو فضاؤه « فارغاً » .

وإلى هنا ارتبط تصورنا للفضاء بالصندوق ولكنه واضح مع ذلك أن

---

(١) يجب ان يؤخذ هذا التعبير على علاته .

إمكانيات التخزين التى تكوّن فضاء الصندوق مستقلة تماماً عن سمك جوانبه . أليس ممكنا أن نضغط هذه الجدران ونختزلها إلى أن تختفى من الوجود تماماً ومع ذلك يتبقى الفضاء الذى كانت تضمه هذه الجدران ؟ لا مراء فى أن عملية التحديد هذه أمر طبيعى جداً وهكذا يتبقى لدينا فكريا الفضاء — دون ماحاجة إلى الصندوق — شيئاً واضحاً من تلقاء نفسه ، ولو أنه يبدو لنا وهماً إذا ماغاب عنا أصل هذا التصور . وهذا يفسر لماذا كره ديكارت أن يعتبر الفضاء شيئاً مستقلا عن الأجسام المادية أعنى شيئاً يمكن أن يوجد دون المادة(1) (وفى نفس الوقت لا يمنع هذا ديكارت من اعتبار الفضاء تصوراً أساسياً فى هندسته التحليلية) ولقد جرد اكتشاف وجود فراغ فى البارومتر الزئبقى آخر أنصار ديكارت من كل أسلحتهم ومع ذلك فلا سبيل إلى إنكار أنه حتى فى هذا الطور البدائى علق كثير من عدم الرضا والارتياب بتصور الفضاء أو بالفضاء على اعتباره شيئاً حقيقياً مستقلا .

إن الطرق التى يمكن تبعاً لها حشد الأجسام فى الفضاء (الصندوق) هى فى الحقيقة موضوع بحث الهندسة الإقليدية ثلاثية الأبعاد ولو أن بناءها البديهى يخدعنا إذ يجعلنا ننسى أنها تتعلق بمواقف يمكن تحقيقها .

والآن إذا كان تصور الفضاء قد نشأ على هذه الصورة فإنه يكون أصلا فى ضوء تجربة ملء الصندوق فضاءً « محدوداً » ، وعلى ذلك فهذا التحديد لا يبدو أساسيا لأنه واضح أنه يمكن دائماً تصور صندوق أكبر يمكن أن

(1) حاول كانت التخلص من هذه الورطة فانكر موضوعية الفضاء ، ولكن هذا الامر لايمكن اخذه على محمل الجد فامكانيات التخزين فى الفضاء وداخل الصندوق وان كانت ملازمة له لها نفس الوجود الموضوعى الذى للصندوق نفسه وللاجسام التى توضع فيه .

يحتوى الصندوق الأصغر وبهذه الطريقة يبدو الفضاء كشيء غير محدود .

ولن أحاول هنا تقصى نشأة تصورى الفضاء ثلاثى الأبعاد وطبيعته الإقليدية راجعاً بهما إلى تجارب بدائية نسبياً إنما أفضل على ذلك أن أستعرض من زوايا أخرى دور تصور الفضاء فى تقدم ونمو الفكر الفزيائى.

إننا إذا وضعنا صندوقا صغيراً (ص) ساكناً نسبياً داخل صندوق فارغ أكبر منه (ص′) يصبح فضاء (ص) الفارغ جزءاً من فضاء (ص″) الفارغ ويصبح نفس الفضاء الذى يحويهما ملكاً مشاعاً لهما . وإذا كان (ص) متحركا بالنسبة إلى (ص″) يتعقد الأمر ويميل المرء إلى اعتبار (ص) يتضمن دائما نفس الفضاء ولكنه جزء متغير من فضاء (ص″) وعند ذلك يصبح ضرورياً أن يختص كل صندوق بفضائه الخاص باعتباره غير محدود وأن نفرض أن هذين الفضاءين يتحركان بالنسبة إلى بعضهما البعض .

ويبدو لنا الفضاء قبل أن نتمثل تماماً هذا التعقيد كأنه وسط غير محدود أو وعاء تهيم فيه الأجسام المادية سابحة . ولكن أصبح الآن لزاماً علينا أن نتذكر أن هناك عدداً لا حصر له من الفضاءات التى تتحرك بالنسبة إلى بعضها البعض . وتصور الفضاء باعتباره شيء موجود موضوعيا ومستقلا عن بقية الأشياء تصور يرجع إلى فكر ما قبل العلم بخلاف فكرة وجود عدد لانهائى من الفضاءات تتحرك بالنسبة إلى بعضها البعض . فهذه الفكرة الأخيرة تفرض نفسها منطقياً ولكنها — وهذا أمر فى غاية الغرابة — لم تلعب أى دور هام حتى فى الفكر العلمى .

الآن وقد وضح أمامنا الأصل السيكولوجى لتصور المكان يحق لنا أن نتساءل : ما هو الأصل السيكولوجى لتصور الزمان . . . ؟ لا شك فى أن هذا التصور مرتبط بمسألة «التذكرة» كما هو مرتبط بالتمييز بين التجربة الحسية واستعادة ذكرى هذه التجربة . ومن المشكوك فيه فى حد ذاته أن

يكون التمييز بين التجارب الحسية واستعادة ذكرى هذه التجارب (أو التخيل البسيط لها) شيء قد أعطى لنا سيكولوجياً مباشرة . فكل منا قد عانى الشك فيما إذا كان قد كابد فعلا إحساساً أو أنه حلم به فقط ومن المحتمل أن تكون القدرة على التمييز بين هذين البديلين نابعة من القدرة الخلاقة للمخ .

إننا نربط بين التجربة و « الذكرى » ونعتبرها أسبق بالمقارنة « بالتجارب الراهنة » وهذا مبدأ ترتيبي ذهني لذكريات التجارب وإمكان تحقيق هذا المبدأ يعطينا التصور الذاتى للزمن أى ذلك التصور الذى يرجع إلى ترتيب تجارب الفرد .

ولكن ماذا نعنى بجعل تصور الزمن موضوعياً ؟ دعنا نتأمل مثلا يوضح لنا ذلك . هب أن أحداً من الناس ا (انا) شاهد البرق وأنه فى نفس الوقت شاهد سلوكاً للشخص ب ينم عن ارتباطه بنفس تجربته هو « مشاهدة البرق » هكذا يشترك ا ، ب فى تجربة مشاهدة البرق ، وعلى ذلك تتولد عند ا فكرة أن أشخاصاً آخرين يشتركون معه فى نفس التجربة وهكذا تصبح مشاهدة البرق بعد أن كانت تجربة شخصية محضة ، تجربة للآخرين (أو فى النهاية مجرد تجربة ممكنة الوجود) على هذا النحو نجد أن التفسير « أنها تبرق » الذى وعيناه أول الأمر كتجربة شخصية قد أصبح الآن يفسر أيضا على أنه حادثة (موضوعية) وهى بهذا الشكل مثل أو رمز لكل الحوادث التى نعنيها عند الكلام عن « العالم الخارجى الحقيقى » .

لقد رأينا أننا مسوقون إلى أن نرتب تجاربنا ترتيباً زمنياً يجرى على هذا النحو : إذا كان (ب) متأخراً بالنسبة إلى (ا) ، (حـ) متأخراً بالنسبة إلى (ب) يكون (حـ) متأخراً بالنسبة إلى (ا) أيضاً (تتابع التجارب) ولكن ماهو وضع الحوادث التى ربطناها مع التجارب بهذا الخصوص ...؟ يبدو واضحاً لأول وهلة أن هناك ترتيباً زمنياً للحوادث يتفق مع الترتيب الزمنى للتجارب . لقد كان هذا هو المتبع بوجه عام على غير وعى إلى ان

ظهرت فى الأفق شكوك خاصة [1] . وحتى نصل إلى فكرة العالم الموضوعى فلا نزال فى حاجة إلى تصور بناء آخر . إن الحادثة ليست محددة الموقع بالنسبة إلى الزمن فقط بل وبالنسبة إلى المكان أيضاً .

لقد حاولنا فيما تقدم من السطور أن نصف كيف يمكن أن نربط سيكولوجياً بين تصورات : المكان والزمن والحادثة من ناحية والتجارب من الناحية الأخرى . وهذه التصورات من ناحية المنطق ابتكارات حرة للعقل البشرى . إنها أدوات الفكر القصد منها ربط التجارب فيما بينها بصلة حتى يمكن أن نحصيها جيداً . ومحاولة إدراك الأصول التجريبية التى نبعت منها هذه التصورات الأساسية يجدر بها أن توضح لنا مدى تقيدنا فعلا بهذه التصورات ، وبهذا الشكل نصبح على بينة من مدى حريتنا التى يصعب علينا غالباً عند الاقتضاء استغلالها استغلالا معقولا .

ولا زال أمامنا اعتبار أساسى يجب إضافته إلى هذه الصورة وهو يتعلق بالأصل السيكولوجى لتصورات المكان — زمن - حادثة (وسنسميها بالاختصار شبه الفضائية على عكس التصورات من المحيط السيكولوجى) . فلقد ربطنا الفضاء مع تجارب تستخدم الصناديق وترتيب الأجسام المادية فيها . وهكذا يفترض هذا التكوين لهذه التصورات سبق وجود تصور الأجسام المادية (أى الصناديق) وكذلك يلعب بنفس الطريقة الأشخاص الذين كان لزاما أن ندخلهم حتى يتكون التصور الموضوعى للزمن دور الأجسام المادية بهذا الخصوص ولذلك يبدو لى أن تكوين تصور الجسم المادى يجب أن يسبق تصوراتنا للمكان والزمان .

وكل هذه التصورات شبه الفضائية تتعلق فعلا بعصر ما قبل العلم

---

(1) فترتيب التجارب زمنيا تبعا للوسائل السمعية مثلا يمكن أن يختلف عن ترتيبها زمنيا تبعا للوسائل البصرية بحيث يتعذر تطابق التتابع الزمنى للحوادث مع التتابع الزمنى للتجارب .

جنبا إلى جنب مع تصورات من المجال النفسي مثـــل الألم والهدف والغرض . . . إلخ ولكنه من سمات الفكر فى الفيزيلء كما هو من خصائص الفكر فى العلم الطبيعى عامة أن يسعى من حيث المبدأ ألا يلجأ إلا إلى التصورات « شبه الفضائية » وحدها ، وأن يجتهد فى التعبير بوساطتها عن كل العلاقات على شكل قوانين . فعالم الفيزياء يجتهد أن يرد الألوان والنغمات إلى اهتزازات كما يجتهد عالم الفسيولوجى فى رد الفكر والألم إلى عمليات عصبية بشكل يستبعد العنصر النفسى بذاته (من حيث هو عنصر نفسى) من سلسلة الاتصال السببية للوجود . وهكذا لا يتدخل هذا العنصر فى أى مكان كحلقة مستقلة فى الارتباطات السببية . ولا شك أن هذا الوضع الذى يعتبر أن إمكان فهم كل العلاقات أمر مرهون باستعمال التصورات « شبه الفضائية » وحدها هو من حيث المبدأ مايقصد التعبير عنه هذه الأيام « بالمادية » (طالما أن المادة قد فقدت دورها كتصور أساسى) .

ولكن ؛ لماذا كان علينا أن ندحرج الأفكار والتصورات الأساسية عن الفكر فى العلم الطبيعى من عليا، سمائها عند جبال أولمب فى أحضان أفلاطون محاولين الكشف عن منبتها الأرضى ... ؟ لعل ذلك كان أفضل وسيلة لتخليص هذه الأفكار وتحريرها من ربقة الطلسم الذى ضرب عليها. وهكذا تحقق حرية أكبر فى تكوين الأفكار والتصورات. والفضل الأكبر فى ذلك يرجع إلى خالدى الذكر دافيد هيوم وأرنست ماك فهما اللذان سبقا الجميع إلى هذا الفهم الناقد .

لقد أخذ العلم عن فكر ما قبل العلم التصورات فضاء ، زمن ، والجسم المادى (مع الحالة الخاصة الهامة « الجسم الجاسىء ») وحورها وجعلها أكثر دقة فأينعت وكانت أولى ثمراتها الهامة هندسة إقليدس التى يجب أن لا تحجب صيغتها البديهية عن أعيننا منبتها التجريبى (إمكان إزاحة الأجسام عن بعضها البعض أو رصها فوق بعضها البعض) وعلى الأخص طبيعة الفضاء ثلاثية الأبعاد وطابعه الإقليدى فهذا كله أيضا تجريبى الأصل . (يمكن ملؤه كله « بمكعبات » متشابهة البناء) .

وتسامى تصور الفضاء كثيراً بعد أن اكتشفنا أنه ليس هناك أجسام تامة الجساءة فكل الأجسام مرنة إن قليلا أو كثيراً وتتغير أحجامها تبعاً لتغير درجة حرارتها أيضاً . وعلى ذلك فالإنشاءات التي يجب وصف تطابقاتها الممكنة بوساطة هندسة إقليدس لا يمكن تمثيلها بعيدا عن التصورات الفزيائية . ولكن لما كانت الفيزياء آخر الأمر مضطرة إلى استخدام الهندسة فى إقامة تصوراتها فإن المضمون التجريبي للهندسة لا يمكن تقريره أو اختباره إلا فى إطار الفيزياء كلها .

ويجب أن لا يغيب عن بالنا فى هذا الخصوص الفكرة الذرية (الذريات) وتصورها عن القابلية للانقسام المحدد لأن الفضاءات ذات الامتداد دون الذرى لايمكن قياسها . وتضطرنا الذريات أيضا إلى التخلى من حيث المبدأ عن فكرة السطوح المحددة تماماً واستاتيكياً والتى تحد الأجسام الصلبة . وليس هناك إذا راعينا الدقة قوانين دقيقة حتى على مستوى الحيز الكبير للتشكيلات الممكنة للأجسام الجاسئة التى تتلامس .

وعلى الرغم من هذا لم يفكر أحد فى التخلى عن تصور الفضاء لأنه كان يبدو مما لا يمكن الاستغناء عنه فى مجموع نظام العلم الطبيعى ، وكان مرضياً جداً . ولقد كان ماك فى القرن التاسع عشر هو الوحيد الذى فكر جدياً فى حذف تصور الفضاء ، عندما فكر فى أن يستبدله بفكرة مجموع المسافات اللحظية بين كل النقط المادية (لقد حاول ذلك ابتغاء الوصول إلى فهم أكمل للقصور الذاتى) .

المجال

يلعب الفضاء والزمن فى ميكانيكا نيوتن دوراً مزدوجاً، فهما أولا يؤديان دور الحامل أو الهيكل لما يحدث فى الفزياء والذى تسند إليه وصف الحوادث عن طريق إحداثيات المكان والزمن . وتعتبر المادة من حيث المبدأ مكونة من « نقط مادية » تكوّن حركاتها الحوادث الفزيائية . وعندما تعتبر المادة

مستمرة البناء ، لا يكون ذلك إلا مؤقتا فى تلك الحالات التى لا نريد أو لانستطيع أن نصف البناء الحبيبى . وفى هذه الحالة تعامل الأجزاء الصغيرة (عناصر الحجم) من المادة معاملة النقط المادية على الأقل طالما كنا نهتم بمجرد الحركات لا بالوقائع التى ليس ممكناً الآن ، أو لا فائدة ترجى من إسنادها للحركات (أى تغيرات درجة الحرارة أو العمليات الكيميائية) أما الدور الثانى للفضاء والزمن فقد كان يتلخص فى أنهما « مجموعة قصورية » وكانت المجموعات القصورية تمتاز دائماً على كل مجموعات الإسناد الممكن تصورها بأن قانون القصور الذاتى صحيح بالنسبة لها .

والنقطة الأساسية فى كل هذا هى أن الحقيقة الفزيائية – ونعتبرها مستقلة عن الأشخاص الذين يكابدونها – تبين أنها تتكون على الأقل من حيث المبدأ من المكان والزمن من ناحية والنقط المادية دائمة الوجود من الناحية الأخرى والتى تتحرك بالنسبة للزمن والفضاء . ويمكن التعبير بشكل عنيف عن فكرة الوجود المستقل للزمن والمكان على هذا النحو . لو كان لزاماً أن تختفى المادة لبقى الزمن والمكان وحدهما (كنوع من المسرح للحوادث الفزيائية) .

ولقد جاء تذليل هذه العقبة نتيجة لتقدم كان يبدو لأول وهلة عديم الصلة بمشكلة المكان – زمن . وأعنى به ظهور « تصور المجال » وغايته الأخيرة هى أن يحل من حيث المبدأ محل فكرة الجسيم (النقطة المادية) . ولقد ظهر تصور المجال فى هيكل الفزياء الكلاسيكية على أنه تصور مساعد فى الحالات التى عولجت فيها المادة باعتبارها متصلا . مثال ذلك : عند معالجة توصيل الحرارة فى جسم جامىء توصف حالة الجسم بذكر درجة الحرارة فى كل نقطة من نقطه عند كل لحظة محددة . وهذا يعنى رياضياً أن درجة الحرارة ء تصور على أنها تعبير رياضى (دالة) لإحداثيات المكان والزمن ز (مجال درجة الحرارة) ويمثل قانون توصيل الحرارة

على أنه علاقة محلية (معادلة تفاضلية) تضم كل الحالات الخاصة لتوصيل الحرارة . ودرجة الحرارة هنا مثال بسيط لتصور المجال فهى كمية (أومركب كميات) تكون دالة للإحداثيات والزمن . وهناك مثال آخر هو وصف حركة السائل . ففى كل نقطة من نقطه توجد فى أية لحظة سرعة توصف كمياً بمركباتها الثلاث بالنسبة إلى محاور بمجموعة إحداثيات (متجه) ومركبات السرعة فى نقطة ما هنا أيضاً (مركبات المجال) دوال للإحداثيات (س ، ص ، ع) والزمن ز .

ومن مميزات المجالات التى ذكرناها أنها تحدث فقط داخل كتلة ذات وزن . وهى تستخدم فقط لوصف حالة ما لهذه المادة . وتمشياً مع التطور التاريخى لتصور المجال نجد أنه لا يمكن أن يوجد المجال حيث لا توجد المادة . ولكن ظهر فى الربع الأول من القرن التاسع عشر أن ظواهر حركة الضوء والتداخل يمكن تفسيرها بوضوح مذهل باعتبار الضوء مجالاً موجياً يشبه تماماً مجال الاهتزاز الميكانيكى فى جسم جاسىء مرن . وهكذا نشأت ضرورة إدخال مجال يمكن أيضاً أن يوجد فى « الفضاء الفارغ » فى غياب المادة ذات الوزن .

ولقد أدت بنا هذه الحالة إلى موقف غاية فى الإشكال . ذلك لأن تصور المجال فى أول ظهوره كان — تمشيا مع نشأته — مقصوراً على وصف حالات فى داخل الجسم ذى الوزن ، وكان هذا يبدو مؤكداً بقدر اقتناعنا بأن كل مجال يجب أن يعتبر حالة قابلة للتفسير الميكانيكى ، وكان هذا الأمر يفترض مقدماً وجود المادة ولهذا أصبحنا مضطرين حتى فى الفضاء الذى اعتبرناه حتى الآن خالياً إلى افتراض وجود شكل من المادة فى جميع أجزائه وسمى هذا الشكل الأثير .

ولقد كان تخلص تصور المجال من زعم ارتباطه بفكرة حامل ميكانيكى حدثاً من أهم الأحداث سيكولوجيا التى دفعت الفكر الفزيائى إلى الأمام .

فقد اتضح خلال النصف الثانى من القرن التاسع عشر بوضوح متزايد مرتبط مع أبحـــاث فراداى وماكسويل أن التعبير عن العمليات الكهرومغناطيسية فى حدود المجال أفضل كثيراً من التعبير عنها على أساس التصورات الميكانيكية للنقط المادية . ولقد نجح ماكسويل بتطبيق فكرة المجال فى التنبؤ بوجود الأمواج الكهرومغناطيسية التى لم يكن تماثلها الأساسى مع أمواج الضوء موضع شك نظراً لأن سرعة كليهما واحدة . وتبعاً لهذا ابتلعت من حيث المبدأ الكهرباء الديناميكية علم البصريات ، وكان الأثر السيكولوجى لهذا التقدم الهائل هو أن اكتسب تصور المجال تدريجياً استقلالا أكبر من مواجهة الهيكل المكينى للفزياء الكلاسيكية .

ومع هذا فقد كان من المسلم به أول الأمر أن المجالات الكهرومغناطيسية يجب تفسيرها على اعتبارها حالات للأثير وحاول العلماء بكل همة ونشاط تفسير هذه الحالات ميكانيكياً . ولكن بعد أن تعثرت هذه المحاولات وباءت بالفشل بصورة مستمرة أخذ العلم يقلع تدريجياً عن هذه المحاولات. ولو أن الاقتناع بأن المجالات الكهرومغناطيسية لامناص من اعتبارها حالات للاثير ظل باقياً . وكان هذا هو الموقف حتى مطلع هذا القرن .

ولقد قامت فى أعقاب نظرية الأثير هذه الأسئلة : كيف يسلك الأثير من وجه النظر الميكانيكية بالنسبة إلى الأجسام ذات الوزن ؟ هل يلعب دوراً فى حركات الأجسام أم تظل أجزاؤه فى حالة سكون بالنسبة إلى بعضها البعض ؟ . ولقد أجريت تجارب فذة للإجابة على هذه الأسئلة ولا بد لنا أن نذكر بهذا الخصوص الوقائع التالية المهمة : زوغان النجوم الثابتة تبعاً لحركة الأرض السنوية و « أثر دوبلر » أى تأثير الحركة النسبية للنجوم الثابتة على تردد الضوء الذى يصل إلينا منها بالمقارنة بالترددات المعروفة للإرسال . ولقد استطاع هـ . ا لورنتز تفسير جميع هذه الأمور والتجارب ما عدا واحدة هى تجربة ميكلسن — مورلى — على أساس أن الأثير

لا يشترك فى حركة الأجسام ذات الوزن وأن أجزاءه لا تتحرك إطلاقاً بالنسبة إلى بعضها البعض. وهكذا ظهر الأثير كما لو كان تجسيداً للفضاء الساكن إطلاقاً . ولكن أبحاث لورنتز ذهبت إلى أبعد من ذلك فقد فسرت كل العمليات الكهرومغناطيسية والبصرية داخل المادة ذات الوزن والتى كانت معروفة فى ذلك الحين على أساس أن تأثير الأجسام ذات الوزن على المجال الكهربائى — والعكس — راجع إلى مجرد أن الجسيمات التى تكون المادة تحمل شحنات كهربائية تشترك مع الجسيمات فى الحركة . أما فيما يتعلق بتجربة ميكلسن — مورلى فقد أوضح لورنتز أن نتيجتها لا تتعارض على الأقل مع نظرية الأثير الساكن .

وعلى الرغم من هذه الانتصارات الرائعة لم تكن حالة النظرية مرضية تماماً للأسباب التالية . أن الميكانيكا الكلاسيكية — وليس هناك شك فى أنها تتفق والواقع — كتقريب أول تعلمنا تكافؤ كل المجموعات القصورية أو « الفضاءات » القصورية لصياغة القوانين الطبيعية أى عدم تغير هذه القوانين عند الانتقال من مجموعة قصورية إلى أخرى. وتعلمنا « التجارب » الكهرومغناطيسية والبصرية نفس الشيء بدقة فائقة فى حين أن أساس النظرية الكهرومغناطيسية يعلمنا أن مجموعة قصورية خاصة يجب أن تعطى الأفضلية وهى الأثير المضيء الساكن. وهذه النظرة التى انطوى عليها الأساس النظرى كانت غير مرضية إلى أبعد الحدود ، فهل هناك تعديل لهذا الأساس يجعل — كما فى الميكانيكا الكلاسيكية — تكافؤ المجموعات القصورية حقيقة واقعة (مبدأ النسبية الخاصة) . . . ؟

إن الجواب على هذا السؤال هو نظرية النسبية الخاصة ، وتحتفظ من نظرية ماكسويل — لورنتز بفرض ثبوت سرعة انتقال الضوء فى الفضاء الخالى . وحتى يكون هناك توافق تام بين هذا وبين تكافؤ المجموعات

القصورية (مبدأ النسبية الخاص) لابد من التخلى عن فكرة الطابع المطلق للآنية . وبالإضافة إلى ذلك لابد من تطبيق تحويلات لورنتز لإحداثيات المكان والزمن عند الانتقال من مجموعة قصورية إلى أخرى . إن كل مضمون النظرية النسبية الخاصة يتضمنه هذا الفرض: « جميع قوانين الطبيعة لا تتغير بالنسبة لتحويلات لورنتز » . وأهم مافى هذا القيد هو أنه يحد قوانين الطبيعة الممكنة بصورة محدده واضحة المعالم .

والآن ماهو وضع نظرية النسبية الخاصة بالنسبة إلى مشكلة الفضاء ..؟

أولا يجب أن نحذر الرأى القائل بأن رباعية أبعاد الحقيقة أدخلت حديثاً لأول مرة بوساطة هذه النظرية فى الفيزياء فحتى فى الفيزياء الكلاسكية كانت الحادثة يحدد موقعها بأربعة أعداد: ثلاثة إحداثيات مكانية وإحداثى زمنى . وعلى ذلك كان مجموع الحوادث الفيزيائية موسداً فى متنوع مستمر رباعى الأبعاد ؛ ولكن هذا المتصل الرباعى الأبعاد ينقسم موضوعيا تبعاً للميكانيكا الكلاسيكية إلى زمن أحادى الأبعاد وإلى قطاعات مكانية ثلاثية الأبعاد . ويحتوى الفريق الأخير منها على الحوادث الآنية وهذا الانقسام واحد بالنسبة لكل المجموعات القصورية . وتزامن حادثتين معينتين بالنسبة إلى مجموعة قصورية واحدة يعنى آنية هاتين الحادثتين بالنسبة إلى كل مجموعات الإسناد القصورية . وهذا هو المعنى الذى نقصده عندما نقول إن الزمن فى الميكانيكا الكلاسيكية مطلق ولكن الزمن من وجهة نظر نظرية النسبية الخاصة ليس كذلك . صحيح أن جماع الحوادث الآنية مع حادثة مختارة قائم بالنسبة إلى مجموعة قصورية خاصة ولكنه لم يعد مستقلا عن اختيار مجموعة الإسناد . إن المتصل الرباعى الأبعاد لم يعد الآن قابلا للانقسام موضوعياً إلى قطاعات كل منها يحوى حوادث آنية . إن « الآن » تفقد بالنسبة للعالم الذى هو امتداد فضائى ، معناها الموضوعى ولأجل هذا يجب اعتبار

الزمن والمكان متصلا رباعى الأبعاد غير قابل للانقسام موضوعياً . إذا كنا نريد أن نعبر عن مضمون العلاقات الموضوعية دون تعسفات اتفاقية غير ضرورية .

ولما كانت نظرية النسبية الخاصة قد أوضحت التكافؤ الفيزيائى لكل المجموعات القصورية فقد أثبتت أن فرض الأثير الساكن لامحل له . وعلى ذلك أصبح ضروريا أن نتخلى عن فكرة أن المجال الكهرومغناطيسى يجب أن يعتبر كمجرد حالة لحامل مادى . وهكذا دخل المجال من أوسع الأبواب وأصبح عنصراً لا يستغنى عنه فى الوصف الفيزيائى له نفس الأهمية التى لتصور المادة فى نظرية نيوتن .

لقد وجهنا جل اهتمامنا حتى الآن إلى الوقوف على أوجه التحوير والتعديل الذى أدخلته نظرية النسبية الخاصة على تصورى المكان والزمن. ودعنا الآن نلقى نظرة على العناصر التى نقلتها هذه النظرية عن الميكانيكا الكلاسيكية . هنا أيضا لاتكون القوانين الطبيعية صحيحة إلا إذا اتخذنا مجموعةقصوريةأساساً لوصف الزمنمكان . إن مبدأ القصور ومبدأ ثبوت سرعة الضوء صحيحان بالنسبة إلى مجموعة قصورية فقط ولا يمكن أن تكون قوانين المجال أيضاً صحيحةأو ذات معنى إلا بالنسبة إلى المجموعات القصورية فقط، وهكذا كما فى الميكانيكا الكلاسيكية نجد أن المكان هنا أيضا مركبة مستقلة فى تمثيل الحقيقة الفيزيائية فإذا تخيلنا زوال المادة والمجال بقى المكان القصورى أو على الأدق بقى هذا المكان والزمن الذى يتصل به . إن الفكرة السائدة عن البناء الرباعى الأبعاد (فضاء منكوفسكى) هو أنه حامل للمادة والمجال أما الفضاءات القصورية مع الأزمنة المتصلة بها فمجرد مجموعات إحداثية ممتازة تتصل أو تترابط معاً بوساطة تحويلات لورنتز الخطية . وحيث إنه لم يعد يوجد فى هذا البناء رباعى الأبعاد أى قطاع يمثل « الآن » موضوعياً فإن تصورى الحدوث والصيرورة لم يتوقفا أو يلغيا

تماما ولكنهما تعقدا للغاية وعلى ذلك يبدو طبيعياً جداً أن نعتبر الحقيقة الفيزيائية وجوداً رباعى الأبعاد بدلا من اعتبارها كما فعلنا حتى الآن تطوراً لوجود ثلاثى الأبعاد .

وهذا الفضاء الجاسىء رباعى الأبعاد فى نظرية النسبية الخاصة هو إلى حد ما نظير رباعى الأبعاد لأثير لورنتز الجاسىء ثلاثى الأبعاد وبالنسبة إلى هذه النظرية أيضا نرى أن ما يلى صحيح : — إن وصف الحالات الفيزيائية يفترض أن المكان موجود من قبل وأن وجوده مستقل ، وهكذا نجد أنه حتى هـــذه النظرية لا تبدد ضيق ديكارت فيما يتعلق بالوجود المستقل أو « الأولى » حقا للفضاء الفارغ ، إن الهدف الحقيقى للمناقشة الأولية التى قدمناها هنا هو أن نوضح الى أى مدى تغلبت نظرية النسبية العامة على هذه الشكوك .

تصور الفضاء فى نظرية النسبية العامة

لقد نشأت هذه النظرية أصلا من محاولة لفهم تساوى الكتلة القصورية والكتلة الجاذبية . والآن دعنا نبدأ من مجموعة قصورية س، فضاؤها من وجهة النظر الفزيائية فارغ أو بعبارة أخرى لا يواجه فى الجزء من الفضاء محل الاعتبار أية مادة (بالمعنى المعتاد) ولا أى مجال (بالمعنى المقصود فى نظرية النسبية الخاصة) وهب أن هناك بالنسبة إلى س، مجموعة إسناد أخرى س٢ تتحرك بعجلة منتظمة . وعلى ذلك لا تكون س٢ بهذا الشكل مجموعة قصورية فبالنسبة إلى س٢ سوف تتحرك كل كتلة اختبارية بعجلة مستقلة عن طبيعتها الفزيائية والكيمائية وعلى ذلك يكون هناك بالنسبة الى س٢ حالة هى على الأقل تقريب أول الى مجال الجاذبية . وهكذا يكون التصور التالى متفقاً مع الوقائع المشاهدة : إن س٢ تكافىء أيضا « مجموعة قصورية » ولكن يوجد بالنسبة لها مجال جاذبى (متجانس) (لا داعى

للتعرض لمصدره هنا) وهكذا تفقد المجموعة القصورية مغزاها الموضوعى عندما يتدخل المجال الجاذبى فى هيكل الموضوع إذا سلمنا بأن «مبدأ التكافؤ» هذا يمكن أن يمتد الى أية حركة نسبية كانت لمجموعة الإسناد . إننا إذا استطعنا أن نضع نظرية متماسكة على أساس هذه الأفكار فإنها ستتفق تلقائيا مع حقيقة تساوى الكتلة الجاذبية والكتلة القصورية وهى حقيقة تؤيدها التجربة بقوة .

ومن وجهة النظر رباعية الأبعاد يناظر الانتقال من $س_1$ الى $س_2$ تحويلا لا خطيا للإحداثيات الأربعة وهنا يواجهنا هذا السؤال : أى أنواع التحويلات الخطية هو المسموح به ؟ أو كيف يمكن تعميم تحويل لورنتز ....؟ وللإجابة على هذا السؤال يعتبر ما يلى حاسماً :

إننا نخص المجموعة القصورية فى النظرية الأسبق بهذه الخاصية تقاس الفروق بين الإحداثيات بقضبان القياس الجاسئة الثابتة وتقاس الفروق فى الزمن بالساعات الساكنة . وأول هذين الفرضين يكمله فرض آخر ينص على أن نظريات إقليدس عن الأطوال تنطبق على عمليات القياس بالقضبان الساكنة . ونستطيع أن نستدل بسهولة من نتائج نظرية النسبية الخاصة على أن هذا التفسير الفزيائى المباشر للإحداثيات يعتبر مفقوداً بالنسبة الى مجموعة الإسناد $س_2$ التى تتحرك بعجلة بالنسبة إلى المجموعة $س_1$. ولكن إذا كان هذا هو الوضع فإن الإحداثيات الآن لا تعبر إلا عن نظام أو رتبة مماسة أو استمرار الفضاء ، وعلى ذلك أيضا تعبر عن الرتبة البعدية للفضاء ولكنها لا تعبر عن أية خاصية من خواصه القياسية . وهكذا نجد أنفسنا مساقين إلى أن نمد التحويلات الى تحويلات تحكمية مستمرة[1] وهذا يستوجب المبدأ العام للنسبية :

---

(١) قد تفى طريقة التعبير غير الدقيقة هذه بالغرض المطلوب هنا .

« يجب أن تكون القوانين الطبيعية — متعدية التغير مع التحويلات التحكمية المستمرة للإحداثيات » وهذا المطلب (مرتبطاً مع مطلب توفر أكبر بساطة منطقية ممكنة للقوانين) يحد القوانين الطبيعية العامة محل الاعتبار بأقوى مما كان فى مبدأ النسبية الخاصة .

وتقوم هذه السلسلة من الأفكار أساسا على اعتبار المجال تصوراً مستقلا لأن الأحوال السائدة بالنسبة إلى س_2 تفسر على أنها مجال جاذبى دون أن تثار مسألة وجود الكتل التى ينشأ عنها هذا المجال . وبفضل سلسلة الأفكار هذه يمكن أيضاً أن نقف على سبب كون قوانين المجال الجاذبى البحت أقوى من حيث الاتصال المباشر بفكرة النسبية العامة من قوانين المجالات التى من نوع عام (عندما يكون مثلا هناك مجال كهرو مغناطيسى) .

ولدينا سند قوى إذ نفرض أن فضاء منكوفسكى الخالى من المجال يمثل حالة خاصة ممكنة فى القانون الطبيعى بل إنها فى الحقيقة أبسط حالة خاصة يمكن تصورها . ويتميز مثل هذا الفضاء من حيث طابعه القياسى بأن $\text{ء س}_1^2 + \text{ء س}_2^2 + \text{ء س}_3^2$ هو مربع الفترة المكانية — مقيساً بوحدة القياس — بين نقطتين متقاربتين إلى ما لا نهاية من قطاع مستعرض لشبه فضاء ثلاثى الأبعاد (نظرية فيثا غورث) بينما ء س_4 هو الفترة الزمنية — مقيسا بقياس مناسب للزمن — بين حادثتين تشتركان فى الإحداثيات (س_1، س_2، س_3) ومعنى هذا كله ببساطة هو أن مغزى موضوعياً قياسياً قد أعطى للكمية :

$$\text{ء ف}^2 = \text{ء س}_1^2 + \text{ء س}_2^2 + \text{ء س}_3^2 - \text{ء س}_4^2 \qquad (1)$$

كما اتضح ذلك من قبل بمساعدة تحويلات لورنتز ويقابل هذا الأمر رياضياً شرط كون ء ف^2 لامتغير بالنسبة إلى تحويلات لورنتز .

والآن إذا أخضعنا وفقاً للمبدأ العام للنسبية هذا الفضاء (انظر المعادلة (١)) لتحويل تحكمى مستمر للإحداثيات عندئذ يعبر عن الكمية ذات المغزى الموضوعى ء ف فى مجموعة الإحداثيات الجديدة بالعلاقة .

$$ء ف^{2} = ع_{م ن} \, ء س_{م} \, ء س_{ن} \qquad (١١)$$

التى يجب أن تتكامل إلى ما فوق الأسس م ، ن لكل التوافيق ١١ — ١٢ . . . . إلى ٤٤ وليست الحدود $ع_{م ن}$ فى هذه الحالة ثوابتاً بل دوال للإحداثيات يحددها التحويل التحكمى المختار . ومع ذلك فليست الحدود $ع_{م ن}$ دوالا تحكمية للإحداثيات الجديدة ولكنها مجرد دوال من نوع يجعل شكل المعادلة (١١) من الممكن إعادة تحويله إلى شكل المعادلة (١) بوساطة تحويل مستمر للإحداثيات الأربعة وحتى يمكن أن يحدث هذا يجب أن تحقق الدوال $ع_{م ن}$ معادلات عامة معينة .شرطية متعدية التغير اشتقها ريمان منذ أكثر من نصف قرن قبل مجىء نظرية النسبية (شرط ريمان) وتبعاً لمبدأ التكافؤ نصف المعادلة (١١) بشكل متعدى التغير عام مجال جاذبى من نوع خاص عند ما تحقق الدوال $ع_{م ن}$ شرط ريمان .

تبعا لما تقدم نجد أن قانون المجال الجاذبى البحت يجب أن يتحقق عند ما يتحقق شرط ريمان ولكنه لا بد أن يكون أضعف وأقل تعقيداً من شرط ريمان . وبهذه الطريقة يتحدد تماماً عملياً قانون المجال البحت . ولن نقدم هنا مبررات هذه النتيجة تفصيلا (خطوات الوصول إليها) .

إننا الآن فى وضع يسمح لنا أن نرى إلى أى مدى يحور الانتقال إلى نظرية النسبية العامة تصور الفضاء . لقد كان للفضاء (الزمكان) وفقا للميكانيكا الكلاسيكية ونظرية النسبية الخاصة وجوداً مستقلا عن المادة والمجال . وحتى يمكن أن نقوم بأى وصف لذاك الذى يملأ الفضاء ويعتمد على الإحداثيات يجب أن ننظر فوراً إلى الزمكان أو المجموعة القصورية بخواصها

القياسية على اعتباره موجوداً وإلا كان وصف « ذاك الذي يملأ الفضاء » لا معنى له[1] . ولكن تبعا لنظرية النسبية العامة من الناحية الأخرى ليس للفضاء فى مواجهة « ما يملأ الفضاء » الذى يعتمد على الإحداثيات وجوداً مستقلا . وهكذا يمكن أن يوصف مجال جاذبى بحت فى حدود $ع_{م د}$ (كدوال للإحداثيات) بحل معادلات الجاذبية . إننا إذا تصورنا أن المجال الجاذبى أى الدوال $ع_{م د}$ قد أزيل فإنه لا يتبقى هناك فضاء من النوع (١) بل لا شيء على الإطلاق ولا « فضاء طوبولوجى » أيضا لأن الدوال $ع_{م د}$ لا تصف المجال وحده فقط ولكنها تصف فى نفس الوقت الخواص البنائية الطبولوجية القياسية للمتنوع . وفضاء من النوع (١) ليس من زاوية نظرية النسبية العامة فضاء بدون مجال بل حالة خاصة من فضاء $ع_{م د}$ ليس لها فى حد ذاتها معنى موضوعيا — لها قيم لا تعتمد على الإحداثيات — فليس هناك شيء من نوع الفضاء الخالى أى فضاء بدون مجال . أن الزمكان لا يدعى لنفسه وجوداً بذاته بل كمجرد صفة بنائية للمجال .

وهكذا لم يكن ديكارت بعيداً عن الصواب حينما اعتقد أنه يجب استبعاد وجود فضاء فارغ . إن هذه الفكرة تبدو حقاً شديدة السخف طالما أننا لا نرى الحقيقة الفزيائية إلا فى الأجسام ذات الوزن . ولقد رأينا أننا لكى ندرك تماما اللب الحقيقى لفكرة ديكارت وكنهها استوجب الأمر أن نلجأ إلى فكرة المجال كممثل للحقيقة مرتبطة مع مبدأ النسبية العامة إذ ليس هناك مكان « خال من المجال » .

النظرية المعممة للجاذبية

وعلى ذلك أصبحت نظرية المجال الجاذبى البحت على أساس النظرية النسبية العامة فى متناول اليد لأننا نستطيع الاطمئنان إلى أن فضاء

---

(١) اذا تخيلنا ان « ما يملأ الفضاء » (اى المجال) قد ازيل يتبقى لنا الفضاء المترى (القياسى) المتفق مع (١) الذى يمكن ان يحدد السلوك القصورى لجسم اختبار يوضع فيه .

منكوفسكى الخالى من المجال المتفق قياسياً مع (١) بحيث أن يحقق القوانين العامة للمجال. ومن هذه الحالة الخاصة نحصل على قانون الجاذبية عن طريق تعميم خال عملياً من التحكم والخطوات التالية للنظرية لا يحددها بصورة لا نزاع فيها المبدأ العام للنسبية. لقد تمت عدة محاولات فى اتجاهات مختلفة خلال عشرات السنين القليلة الأخيرة وتشترك كل هذه المحاولات فى اعتبار الحقيقة الفزيائية مجالا بل وأكثر من ذلك مجالا هو تعميم للمجال الجاذبى يكون فيه قانون المجال تعميماً لقانون المجال الجاذبى البحت. وبعد تمحيص طويل أعتقد أنى قد اهتديت الآن[1] إلى الصيغة الطبيعية جداً لهذا التعميم ولكنى لم أستطع حتى الآن أن أقف على حقيقة ما إذا كان هذا القانون المعمم يقوى على الصمود أمام وقائع التجربة أم لا.

ومسألة قانون المجال الخاص ثانوية بالنسبة للاعتبارات العامة السابقة فالسؤال الرئيسى الآن هو: هل يمكن أن تصل بنا نظرية مجال من النوع الذى نتطالع إليه هنا إلى الهدف على الإطلاق؟ ونعنى بالهدف نظرية تصف وصفاً كاملا الحقيقة الفزيائية بما فيها الفضاء رباعى الأبعاد على اعتبارها مجالا. والجيل الحالى من علماء الفيزياء يميلون إلى الإجابة بالنفى على هذا السؤال حيث يعتقدون وفقاً للشكل الراهن لنظرية الكم أن حالة أية مجموعة فزيائية ما لا يمكن أن تحدد مباشرة بل بطريق غير مباشر فقط بوساطة النص الإحصائى لنتائج القياس الممكن إجراؤها على المجموعة ويسود الاعتقاد بأن ازدواج الطبيعة الذى تؤكده التجارب (البناء الجسيمى والبناء الموجى) لا يمكن إدراك كنهه إلا بإضعاف تصور الحقيقة. وأعتقد أنه لا مبرر الآن مع معلوماتنا الراهنة لمثل هذا الإنكار النظرى البعيد الأثر وأنه يجدر بنا ألا نقلع عن متابعة المضى فى الطريق الذى مهدته أمامنا نظرية المجال النسبية حتى نهايته.

---

(١) يمكن تصوير التعميم كما يلى: ان المجال الجاذبى البحت حسب اشتقاقه من فضاء منكوفسكى الخالى له خاصية التماثل التى تعبر عنها: ح٢ ن: ح ن م (ح١٢ = ح٢١ .. الخ) والمجال المعمم من نفس النوع ولكن بدون خاصية التماثل هذه واشتقاق قانون المجال مماثل تماما لاشتقاق الحالة الخصة للجذب البحت.

ترجمة المصطلحات

A

α particles — جسيمات الفا
Absorption — امتصاص
Abstraction — تجريد
Acceleration — عجلة
Addition of velocities — تحصيل السرعات
Aether drift — دفع الأثير
Action at a distance — التأثير عن بعد
Arbitrary substitutions — البديلات التحكمية
Astronomical day — يوم فلكى
Action & Reaction — فعل ورد فعل
Apriori — بداهة . أولى . قبلى
Atomistics — ذريات
Axioms — بديهيات

B

β rays — أشعة بيتا
Background — خلفية
Becoming — الصيرورة
Being — الكيان
Biology — علم الحياة
Bounded space — فضاء محدود
Bombardment of elements — قذف العناصر

C

Cartisian — كارتيزى
Cathode rays — أشعة المهبط
Classical — كلاسيكى
Continum — متصل
Contignity — مماسة
Co-variant — متغير متعد
Casuality — السببية
Celestial — سماوى
Concept — تصور
Component — مركبة
Co-ordinate — احداثى
Conservation (law of) — قانون بقاء
Centrifugal force — قوة الطرد المركزية
Corpuscular structure — البناء الجسيمى
Cosmological term of field equations — الحد الكونى لمعادلات المجال
Counter point — نقطة مقابلة
Co-variant equations of condition — معادلة الحالة المتعدية التغير
Curvature of light rays — انحناء أشعة الضوء
Curvature of space — انحناء الفضاء
Curvilinear motion — حركة فى خط منحنى

D

Data معطيات
Density كثافة
Distance مسافة
Difraction حيود
Displacement of spectral lines ازاحة خطوط الطيف
Double stars النجوم المزدوجة
Doppler principle مبدا دوبلر
Differentials تفاضلات
Deduction استنباط (استدلال قياسى)
Derivation اشتقاق
Deviation انحراف
Duality ازدواج (ثنائية)

E

Eclipse كسوف
Electron الكترون
Empiric تجريبى وضعى
Equivalence تكافؤ
Electromagnetic waves الامواج الكهرو مغناطيسية
Elastic solid body جسم صلب مرن
Electrostatics الكهرباء الاستياتيكية
Elasticity مرونة
Electrodynamics الكهرباء الديناميكية
Extension امتداد

F

Field مجال
Function دالة
Infinite لا نهائى
Frequency تردد
Finite منته

G

Geometry الهندسة
Geometrical propositions قضايا الهندسة
Geometry-Euclidian الهندسة الاقليدية
Geometry non Euclidian الهندسة اللا اقليدية
Galilian transformations التحويل الجاليلى
Geometers علماء الهندسة
Gaussian co-ordinates الاحداثيات الجاوسية
Gravitational field المجال الجاذبى
Gravitational mass الكتلة الجاذبية
Potential of gravitational field جهد المجال الجاذبى
Group density of stars الكثافة الجماعية للنجوم

H

Happening حدوث
Heuristic value of relativity القيمة الكاشفة للنسبية

I

Induction الاستقراء
Intuition حدس
Ions الايونات
Inertia القصور
Inertial mass الكتلة القصورية
Inertial system المجموعة القصورية
Inertial space الفضاء القصورى
Instantanion photograph صورة فوتوغرافية لحظية
Instantanion snapshot لقطة سريعة

K

Kinetic energy طاقة الحركة

L

Lattice شبكة
Linear خطى
Lengths اطوال
Light signal اشارة ضوئية
Light waves امواج الضوء
Light stimulus مؤثر ضوئى
Limiting case حالة حدية
Limiting velocity سرعة قصوى
Line of force خطوط القوى
Lorentz transformation تحويل لورنتز

M

Manifold متنوع
Material point النقطة المادية
Measuring rod قضيب قياسى
Mechanistic الكينى
Motion الحركة
Materialism المادية
Metric قياسى
Metrical properties الخواص القياسية
Molluse القوقعة الرخوة
Discrete structure of matter البناء الحبيبى للمادة

N

Neutrons النيترونات
Nuclear نووى
Newtonian النيوتونى

O

Objective موضوعى
Optics بصريات
Ondulatory mechanics الميكانيكا الموجية

P

Parabola	سطح مكافىء	Particles	جسيمات
Perihilion	الپرهليون	Plane	مستوى
Proton	البروتون	Potential energy	طاقة الوضع
Position	موضع	Psychological	سيكولوجى
Physics	فزياء		

Q

Quantum theory	نظرية الكم	Quasi Spherical universe	الكون شبه الكيروسى
Quantic properties	الخواص الكمية	Quotient	خارج القسمة
Quasi Euclidian universe	الكون شبه الاقليدى		

R

Radiation	اشعاع	Relative motion	حركة نسبية
Reference system	مجموعة اسناد	Rotation	دوران
Relativitation	التنسيب	Rigidity	الجسائة
Rigid	جاسىء	Realism	الواقعية
Real	واقعى	Remanian condition	الشرط الريمانى
Recollection	استعادة الذكرى (التذكر)		

S

Sense experience	تجربة حسية	System of reference	مجموعة اسناد
Sequence	متتابعة		
Size relations	علاقات الحجم	Stipulation	تعويض
Space	مكان . فضاء	Spherical space	فضاء كروى
Space like concepts	التصورات شبه الفضائية	Spectral lines	خطوط الطيف
		Structure	بناء
Subjective	ذاتى	Discrete structure	بناء حبيبى
Stellar universe	الكون النجمى	Significance	مغزى ـ دلالة
Spatial reparation	انفاصل المكانى	Statistical	احصائى
Space-time	مكان ، زمن	Statics — Statical	الأستاتيكا ـ استاتيكى
System of co-ordinates	مجموعة احداثيات	Symetry — Symetrical	تماثل ـ تماثلى

T

Term حد

Trajectory مسار

Temperature درجة الحرارة

Tensor calculus حساب المتدات

Topological space الفضاء الطوبولوجى

Translelation movement حركة انتقال

Transformations تحويلات

U

Unbounded space فضاء غير محدود

Uniform منتظم

V

Value قيمة

Validity صحة

Variable متغير

Volume حجم

Vacum فراغ

Vector متجه

Velocity سرعة

Co-variant متغير متحد

W

Wave موجة

World عالم

Real & external world العالم الخارجى الحقيقى

المحتويات

الجزء الأول

نظرية النسبية الخاصة

	صفحة
الفصل الأول : المعنى الفزيائى للقضايا الهندسية	٧
الفصل الثانى : مجموعة الإحداثيات	١٠
الفصل الثالث : المكان والزمان فى الميكانيكا الكلاسيكية .	١٤
الفصل الرابع : مجموعة الإحداثيات الجاليلية	١٦
الفصل الخامس : مبدأ النسبية بالمعنى المقيد)	١٧
الفصل السادس: نظرية تركيب السرعات المستعملة فى الميكانيكا الكلاسيكية	٢٠
الفصل السابع : التناقض الظاهرى بين قانون انتشار الضوء ومبدأ النسبية	٢١
الفصل الثامن : فكرة الزمن فى الفيزياء	٢٤
الفصل التاسع : نسبية الآنية	٢٧
الفصل العاشر : حول نسبية تصور المسافة	٣٠
الفصل الحادى عشر : تحويل لورنتز	٣٢
الفصل الثانى عشر : سلوك الساعات وقضبان القياس المتحركة	٣٧
الفصل الثالث عشر : نظرية محصلة السرعات (تجربة فيزو)	٤٠
الفصل الرابع عشر : القيمة الكاشفة للنظرية النسبية	٤٣
الفصل الخامس عشر : النتائج العامة للنظرية	٤٥
الفصل السادس عشر : نظرية النسبية الخاصة والتجربة	٥٠
الفصل السابع عشر : فضاء منكوفسكى رباعى الأبعاد	٥٥

الجزء الثانى

نظرية النسبية العامة

	صفحة
الفصل الثامن عشر : نظريتا النسبية الخاصة والعامة	٦١
الفصل التاسع عشر : مجال الجاذبية	٦٥
الفصل العشرون : تسالى كتلتى القصور والجاذبية (كحجة فى صف المبدأ العام للنسبية)	٦٨
الفصل الحادى والعشرون : ماهى أوجه النقص فى أسس الميكانيكا الكلاسيكية ونظرية النسبية الخاصة..؟	٧٢
الفصل الثانى والعشرون : استنتاجات قليلة من مبدأ النسبية العامة	٧٤
الفصل الثالث والعشرون : سلوك الساعات وقضبان القياس على مجموعة إسناد تدور	٧٨
الفصل الرابع والعشرون : المتصل الاقليدى واللاإقليدى	٨٢
الفصل الخامس والعشرون : إحداثيات جاوس	٨٥
الفصل السادس والعشرون : المتصل الزمان والمكان فى نظرية النسبية الخاصة على اعتبار أنه متصل إقليدى	٨٩
الفصل السابع والعشرون : المتصل الزمانى الخاص بالنظرية النسبية العامة ليس متصلا إقليديا	٩١
الفصل الثامن والعشرون : التعبير الدقيق عن مبدأ النسبية العام	٩٤
الفصل التاسع والعشرون : حل مشكلة الجاذبية على أساس المبدأ العام للنسبية	٩٧

الجزء الثالث

تأملات فى الكون ككل

	صفحة
الفصل الثلاثون : الصعوبات الكونية فى نظرية نيوتن	١٠٣
الفصل الحادى والثلاثون : إمكان وجود كون منته ولكنه غير محدود	١٠٥
الفصل الثانى والثلاثون : بناء الفضاء للنظرية النسبية العامة	١١٠

الملاحق

الملحق الأول : اشتقاق بسيط لتحويل لورنتز	١١٥
الملحق الثانى : فضاء منكوفسكى رباعى الأبعاد	١٢١
الملحق الثالث : الإثبات التجريبى لنظرية النسبية العامة	١٢٣
الملحق الرابع : بناء الفضاء تبعاً لنظرية النسبية العامة	١٣٣
الملحق الخامس: النسبية ومشكلة الفضاء	١٣٥
المصطلحات	١٥٥

المشروع القومى للترجمة

المشـروع القومـى للترجمـة مشـروع تنميـة ثقافيـة بالدرجـة الأولى ، ينطلق من الإيجابيات التى حققتها مشروعات الترجمة التى سبقته فى مصر والعالم العربى ويسعى إلى الإضافة بما يفتح الأفق على وعود المستقبل، معتمداً المبادئ التالية :

١- الخروج من أسر المركزية الأوروبية وهيمنة اللغتين الإنجليزية والفرنسية .

٢- التوازن بين المعـارف الإنسانية فى المجـالات العلمية والفنية والفكرية والإبداعية .

٣- الانحـيـاز إلى كل مـا يؤسس لأفكار التـقـدم وحضـور العلم وإشـاعـة العـقـلانيـة والتشجيع على التجريب .

٤- ترجـمـة الأصـول المعرفـيـة التى أصـبـحت أقـرب إلى الإطار المرجـعى فى الثـقـافـة الإنسانية المعاصرة، جنبًا إلى جنب المنجزات الجديدة التى تضع القارئ فى القلب من حركة الإبداع والفكر العالميين .

٥- العمل على إعداد جيل جديد من المترجمين المتخصصين عن طريق ورش العمل بالتنسيق مع لجنة الترجمة بالمجلس الأعلى للثقافة .

٦- الاستعانة بكل الخبرات العربية وتنسيق الجهود مع المؤسسات المعنية بالترجمة .

المشروع القومى للترجمة

١-	اللغة العليا	جون كوين	أحمد درويش
٢-	الوثنية والإسلام (ط١)	ك. مادهو بانيكار	أحمد فؤاد بلبع
٣-	التراث المسروق	جورج جيمس	شوقى جلال
٤-	كيف تتم كتابة السيناريو	انجا كاريتنكوفا	أحمد الحضرى
٥-	ثريا فى غيبوبة	إسماعيل فصيح	محمد علاء الدين منصور
٦-	اتجاهات البحث اللسانى	ميلكا إفيتش	سعد مصلوح ووفاء كامل فايد
٧-	العلوم الإنسانية والفلسفة	لوسيان غولدمان	يوسف الأنطكى
٨-	مشعلو الحرائق	ماكس فريش	مصطفى ماهر
٩-	التغيرات البيئية	أندرو. س. جودى	محمود محمد عاشور
١٠-	خطاب الحكاية	جيرار جينيت	محمد معتصم وعبد الجليل الأزدى وعمر حلى
١١-	مختارات	فيسوافا شيمبوريسكا	هناء عبد الفتاح
١٢-	طريق الحرير	ديفيد براونيستون وايرين فرانك	أحمد محمود
١٣-	ديانة الساميين	روبرتسن سميث	عبد الوهاب علوب
١٤-	التحليل النفسى للأدب	جان بيلمان نويل	حسن المودن
١٥-	الحركات الفنية	إدوارد لويس سميث	أشرف رفيق عفيفى
١٦-	أثينة السوداء (جـ١)	مارتن برنال	بإشراف أحمد عثمان
١٧-	مختارات	فيليب لاركين	محمد مصطفى بدوى
١٨-	الشعر النسائى فى أمريكا اللاتينية	مختارات	طلعت شاهين
١٩-	الأعمال الشعرية الكاملة	جورج سفيريس	نعيم عطية
٢٠-	قصة العلم	ج. ج. كراوثر	يمنى طريف الخولى و بدوى عبد الفتاح
٢١-	خوخة وألف خوخة	صمد بهرنجى	ماجدة العنانى
٢٢-	مذكرات رحالة عن المصريين	جون أنتيس	سيد أحمد على الناصرى
٢٣-	تجلى الجميل	هانز جيورج جادامر	سعيد توفيق
٢٤-	ظلال المستقبل	باتريك بارندر	بكر عباس
٢٥-	مثنوى	مولانا جلال الدين الرومى	إبراهيم الدسوقى شتا
٢٦-	دين مصر العام	محمد حسين هيكل	أحمد محمد حسين هيكل
٢٧-	التنوع البشرى الخلاق	مقالات	نخبة
٢٨-	رسالة فى التسامح	جون لوك	منى أبو سنة
٢٩-	الموت والوجود	جيمس ب. كارس	بدر الديب
٣٠-	الوثنية والإسلام (ط٢)	ك. مادهو بانيكار	أحمد فؤاد بلبع
٣١-	مصادر دراسة التاريخ الإسلامى	جان سوفاجيه - كلود كاين	عبد الستار الحلوجى وعبد الوهاب علوب
٣٢-	الانقراض	ديفيد روس	مصطفى إبراهيم فهمى
٣٣-	التاريخ الاقتصادى لأفريقيا الغربية	أ. ج. هوبكنز	أحمد فؤاد بلبع
٣٤-	الرواية العربية	روجر آلن	حصة إبراهيم المنيف
٣٥-	الأسطورة والحداثة	بول . ب . ديكسون	خليل كلفت
٣٦-	نظريات السرد الحديثة	والاس مارتن	حياة جاسم محمد
٣٧-	واحة سيوة وموسيقاها	بريجيت شيفر	جمال عبد الرحيم

٣٨-	نقد الحداثة	آلن تورين	أنور مغيث
٣٩-	الإغريق والحسد	بيتر والكوت	منيرة كروان
٤٠-	قصائد حب	آن سكستون	محمد عيد إبراهيم
٤١-	ما بعد المركزية الأوروبية	بيتر جران	عاطف أحمد وإبراهيم فتحى ومحمود ماجد
٤٢-	عالم ماك	بنجامين باربر	أحمد محمود
٤٣-	اللهب المزدوج	أوكتافيو باث	المهدى أخريف
٤٤-	بعد عدة أصياف	ألدوس هكسلى	مارلين تادرس
٤٥-	التراث المغدور	روبرت ج دنيا – جون ف أ فاين	أحمد محمود
٤٦-	عشرون قصيدة حب	بابلو نيرودا	محمود السيد على
٤٧-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ١)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٤٨-	حضارة مصر الفرعونية	فرانسوا دوما	ماهر جويجاتى
٤٩-	الإسلام فى البلقان	هـ . ت . نوريس	عبد الوهاب علوب
٥٠-	ألف ليلة وليلة أو القول الأسير	جمال الدين بن الشيخ	محمد برادة وعثمانى الميلود ويوسف الأنطكى
٥١-	مسار الرواية الإسبانو أمريكية	داريو بيانويبا وخ. م بينياليستى	محمد أبو العطا
٥٢-	العلاج النفسى التدعيمى	ب. نوفاليس وس . روجسيفيتز وروجر بيل	لطفى فطيم وعادل دمرداش
٥٣-	الدراما والتعليم	أ . ف . ألنجتون	مرسى سعد الدين
٥٤-	المفهوم الإغريقى للمسرح	ج . مايكل والتون	محسن مصيلحى
٥٥-	ما وراء العلم	چون بولكنجهوم	على يوسف على
٥٦-	الأعمال الشعرية الكاملة (جـ١)	فديريكو غرسية لوركا	محمود على مكى
٥٧-	الأعمال الشعرية الكاملة (جـ٢)	فديريكو غرسية لوركا	محمود السيد و ماهر البطوطى
٥٨-	مسرحيتان	فديريكو غرسية لوركا	محمد أبو العطا
٥٩-	المحبرة (مسرحية)	كارلوس مونييث	السيد السيد سهيم
٦٠-	التصميم والشكل	جوهانز إيتين	صبرى محمد عبد الغنى
٦١-	موسوعة علم الإنسان	شارلوت سيمور – سميث	مراجعة وإشراف : محمد الجوهرى
٦٢-	لذّة النّص	رولان بارت	محمد خير البقاعى .
٦٣-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ٢)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٦٤-	برتراند راسل (سيرة حياة)	آلان وود	رمسيس عوض .
٦٥-	فى مدح الكسل ومقالات أخرى	برتراند راسل	رمسيس عوض .
٦٦-	خمس مسرحيات أندلسية	أنطونيو جالا	عبد اللطيف عبد الحليم
٦٧-	مختارات	فرناندو بيسوا	المهدى أخريف
٦٨-	نتاشا العجوز وقصص أخرى	فالنتين راسبوتين	أشرف الصباغ
٦٩-	العالم الإسلامى فى أوائل القرن العشرين	عبد الرشيد إبراهيم	أحمد فؤاد متولى وهويدا محمد فهمى
٧٠-	ثقافة وحضارة أمريكا اللاتينية	أوخينيو تشانج رودريجث	عبد الحميد غلاب وأحمد حشاد
٧١-	السيدة لا تصلح إلا للرمى	داريو فو	حسين محمود
٧٢-	السياسى العجوز	ت . س . إليوت	فؤاد مجلى
٧٣-	نقد استجابة القارئ	چين . ب . تومبكنز	حسن ناظم وعلى حاكم
٧٤-	صلاح الدين والمماليك فى مصر	ل . ا . سيميونوفا	حسن بيومى
٧٥-	فن التراجم والسير الذاتية	أندريه موروا	أحمد درويش
٧٦-	چاك لاكان وإغواء التحليل النفسى	مجموعة من الكتاب	عبد المقصود عبد الكريم

٧٧-	تاريخ النقد الأدبي الحديث (جـ٢)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٧٨-	العولمة : النظرية الاجتماعية والثقافة الكونية	رونالد روبرتسون	أحمد محمود ونورا أمين
٧٩-	شعرية التأليف	بوريس أوسبنسكي	سعيد الغانمي وناصر حلاوي
٨٠-	بوشكين عند «نافورة الدموع»	ألكسندر بوشكين	مكارم الغمري
٨١-	الجماعات المتخيلة	بندكت أندرسن	محمد طارق الشرقاوي
٨٢-	مسرح ميجيل	ميجيل دي أونامونو	محمود السيد علي
٨٣-	مختارات	غوتفريد بن	خالد المعالي
٨٤-	موسوعة الأدب والنقد	مجموعة من الكتاب	عبد الحميد شيحة
٨٥-	منصور الحلاج (مسرحية)	صلاح زكي أقطاي	عبد الرازق بركات
٨٦-	طول الليل	جمال مير صادقي	أحمد فتحي يوسف شتا
٨٧-	نون والقلم	جلال آل أحمد	ماجدة العناني
٨٨-	الابتلاء بالتغرب	جلال آل أحمد	إبراهيم الدسوقي شتا
٨٩-	الطريق الثالث	أنتوني جيدنز	أحمد زايد ومحمد محيي الدين
٩٠-	وسم السيف	ميجل دي ثربانتس	محمد إبراهيم مبروك
٩١-	المسرح والتجريب بين النظرية والتطبيق	باربر الاسوستكا	محمد هناء عبد الفتاح
٩٢-	أساليب ومضامين المسرح الإسبانوأمريكي المعاصر	كارلوس ميجيل	نادية جمال الدين
٩٣-	محدثات العولمة	مايك فيذرستون وسكوت لاش	عبد الوهاب علوب
٩٤-	الحب الأول والصحبة	صمويل بيكيت	فوزية العشماوي
٩٥-	مختارات من المسرح الإسباني	أنطونيو بويرو باييخو	سري محمد عبد اللطيف
٩٦-	ثلاث زنبقات ووردة	قصص مختارة	إدوار الخراط
٩٧-	هوية فرنسا (مج١)	فرنان برودل	بشير السباعي
٩٨-	الهم الإنساني والابتزاز الصهيوني	نخبة	أشرف الصباغ
٩٩-	تاريخ السينما العالمية	ديفيد روبنسون	إبراهيم قنديل
١٠٠-	مساءلة العولمة	بول هيرست وجراهام تومبسون	إبراهيم فتحي
١٠١-	النص الروائي (تقنيات ومناهج)	بيرنار فاليط	رشيد بنحدو
١٠٢-	السياسة والتسامح	عبد الكريم الخطيبي	عز الدين الكتاني الإدريسي
١٠٣-	قبر ابن عربي يليه آياء	عبد الوهاب المؤدب	محمد بنيس
١٠٤-	أوبرا ماهوجني	برتولت بريشت	عبد الغفار مكاوي
١٠٥-	مدخل إلى النص الجامع	چيرارچينيت	عبد العزيز شبيل
١٠٦-	الأدب الأندلسي	ماريا خيسوس روبييرامتي	أشرف علي دعدور
١٠٧-	صورة الفدائي في الشعر الأمريكي المعاصر	نخبـة	محمد عبد الله الجعيدي
١٠٨-	ثلاث دراسات عن الشعر الأندلسي	مجموعة من النقاد	محمود علي مكي
١٠٩-	حروب المياه	چون بولوك وعادل درويش	هاشم أحمد محمد
١١٠-	النساء في العالم النامي	حسنة بيجوم	منى قطان
١١١-	المرأة والجريمة	فرانسيس هيدنسون	ريهام حسين إبراهيم
١١٢-	الاحتجاج الهادئ	أرلين علوى ماكليود	إكرام يوسف
١١٣-	راية التمرد	سادي پلانت	أحمد حسان
١١٤-	مسرحيتا حصاد كونجي وسكان المستنقع	وول شوينكا	نسيم مجلي
١١٥-	غرفة تخص المرء وحده	فرچينيا وولف	سمية رمضان

١١٦–	امرأة مختلفة (درية شفيق)	سينثيا نلسون	نهاد أحمد سالم
١١٧–	المرأة والجنوسة فى الإسلام	ليلى أحمد	منى إبراهيم وهالة كمال
١١٨–	النهضة النسائية فى مصر	بث بارون	لميس النقاش
١١٩–	النساء والأسرة وقوانين الطلاق	أميرة الأزهرى سنبل	بإشراف: رءوف عباس
١٢٠–	الحركة النسائية والتطور فى الشرق الأوسط	ليلى أبو لغد	نخبة من المترجمين
١٢١–	الدليل الصغير عن الكاتبات العربيات	فاطمة موسى	محمد الجندى وإيزابيل كمال
١٢٢–	نظام العبودية القديم ونموذج الإنسان	جوزيف فوجت	منيرة كروان
١٢٣–	الإمبراطورية العثمانية وعلاقاتها الدولية	نينل ألكسندروفنا دوليننا	أنور محمد إبراهيم
١٢٤–	الفجر الكاذب	جون جراى	أحمد فؤاد بلبع
١٢٥–	التحليل الموسيقى	سيدريك ثورپ ديڤى	سمحة الخولى
١٢٦–	فعل القراءة	ڤولفانج إيسر	عبد الوهاب علوب
١٢٧–	إرهاب	صفاء فتحى	بشير السباعى
١٢٨–	الأدب المقارن	سوزان باسنيت	أميرة حسن نويرة
١٢٩–	الرواية الإسبانية المعاصرة	ماريا دولورس أسيس جاروته	محمد أبو العطا وآخرون
١٣٠–	الشرق يصعد ثانية	أندريه جوندر فرانك	شوقى جلال
١٣١–	مصر القديمة (التاريخ الاجتماعى)	مجموعة من المؤلفين	لويس بقطر
١٣٢–	ثقافة العولمة	مايك فيذرستون	عبد الوهاب علوب
١٣٣–	الخوف من المرايا	طارق على	طلعت الشايب
١٣٤–	تشريح حضارة	بارى ج. كيمب	أحمد محمود
١٣٥–	المختار من نقد ت. س. إليوت	ت. س. إليوت	ماهر شفيق فريد
١٣٦–	فلاحو الباشا	كينيث كونو	سحر توفيق
١٣٧–	مذكرات ضابط فى الحملة الفرنسية	جوزيف مارى مواريه	كاميليا صبحى
١٣٨–	عالم التليفزيون بين الجمال والعنف	إيڤلينا تارونى	وجيه سمعان عبد المسيح
١٣٩–	پارسيڤال	ريشارد ڤاجنر	مصطفى ماهر
١٤٠–	حيث تلتقى الأنهار	هربرت ميسن	أمل الجبورى
١٤١–	اثنتا عشرة مسرحية يونانية	مجموعة من المؤلفين	نعيم عطية
١٤٢–	الإسكندرية : تاريخ ودليل	أ. م. فورستر	حسن بيومى
١٤٣–	قضايا التنظير فى البحث الاجتماعى	ديريك لايدار	عدلى السمرى
١٤٤–	صاحبة اللوكاندة	كارلو جولدونى	سلامة محمد سليمان
١٤٥–	موت أرتيميو كروث	كارلوس فوينتس	أحمد حسان
١٤٦–	الورقة الحمراء	ميجيل دى ليبس	على عبدالرءوف البمبى
١٤٧–	خطبة الإدانة الطويلة	تانكريد دورست	عبدالغفار مكاوى
١٤٨–	القصة القصيرة (النظرية والتقنية)	إنريكى أندرسون إمبرت	على إبراهيم منوفى
١٤٩–	النظرية الشعرية عند إليوت وأدونيس	عاطف فضول	أسامة إسبر
١٥٠–	التجربة الإغريقية	روبرت ج. ليتمان	منيرة كروان
١٥١–	هوية فرنسا (مج ٢ ، جـ١)	فرنان برودل	بشير السباعى
١٥٢–	عدالة الهنود وقصص أخرى	نخبة من الكتاب	محمد محمد الخطابى
١٥٣–	غرام الفراعنة	فيولين فانويك	فاطمة عبدالله محمود
١٥٤–	مدرسة فرانكفورت	فيل سليتر	خليل كلفت

١٥٥-	الشعر الأمريكى المعاصر	نخبة من الشعراء	أحمد مرسى
١٥٦-	المدارس الجمالية الكبرى	جى آتيال وآلان وأوديت ڤيرمو	مى التلمسانى
١٥٧-	خسرو وشيرين	النظامى الكنوجى	عبدالعزيز بقوش
١٥٨-	هوية فرنسا (مج ٢ ، جـ٢)	فرنان برويل	بشير السباعى
١٥٩-	الإيديولوجية	ديڤيد هوكس	إبراهيم فتحى
١٦٠-	آلة الطبيعة	بول إيرليش	حسين بيومى
١٦١-	من المسرح الإسبانى	اليخاندرو كاسونا وأنطونيو جالا	زيدان عبدالحليم زيدان
١٦٢-	تاريخ الكنيسة	يوحنا الآسيوى	صلاح عبدالعزيز محجوب
١٦٣-	موسوعة علم الاجتماع	جوردن مارشال	بإشراف: محمد الجوهرى
١٦٤-	شامبوليون (حياة من نور)	چان لاكوتير	نبيل سعد
١٦٥-	حكايات الثعلب	أ. ن أفانا سيفا	سهير المصادفة
١٦٦-	العلاقات بين المتدينين والعلمانيين فى إسرائيل	يشعياهو ليڤمان	محمد محمود أبو غدير
١٦٧-	فى عالم طاغور	رابندرانات طاغور	شكرى محمد عياد
١٦٨-	دراسات فى الأدب والثقافة	مجموعة من المؤلفين	شكرى محمد عياد
١٦٩-	إبداعات أدبية	مجموعة من المبدعين	شكرى محمد عياد
١٧٠-	الطريق	ميغيل دليبيس	بسام ياسين رشيد
١٧١-	وضع حد	فرانك بيجو	هدى حسين
١٧٢-	حجر الشمس	مختارات	محمد محمد الخطابى
١٧٣-	معنى الجمال	ولتر ت. ستيس	إمام عبد الفتاح إمام
١٧٤-	صناعة الثقافة السوداء	ايليس كاشمور	أحمد محمود
١٧٥-	التليفزيون فى الحياة اليومية	لورينزو فيلشس	وجيه سمعان عبد المسيح
١٧٦-	نحو مفهوم للاقتصاديات البيئية	توم تيتنبرج	جلال البنا
١٧٧-	أنطون تشيخوف	هنرى تروايا	حصة إبراهيم المنيف
١٧٨-	مختارات من الشعر اليونانى الحديث	نخبة من الشعراء	محمد حمدى إبراهيم
١٧٩-	حكايات أيسوب	أيسوب	إمام عبد الفتاح إمام
١٨٠-	قصة جاويد	إسماعيل فصيح	سليم عبد الأمير حمدان
١٨١-	النقد الأدبى الأمريكى	فنسنت ب. ليتش	محمد يحيى
١٨٢-	العنف والنبوءة	و.ب. ييتس	ياسين طه حافظ
١٨٣-	چان كوكتو على شاشة السينما	رينيه چيلسون	فتحى العشرى
١٨٤-	القاهرة... حالمة لا تنام	هانز إيندورفر	دسوقى سعيد
١٨٥-	أسفار العهد القديم	توماس تومسن	عبد الوهاب علوب
١٨٦-	معجم مصطلحات هيجل	ميخائيل إنوود	إمام عبد الفتاح إمام
١٨٧-	الأرضة	بُزرگ علوى	محمد علاء الدين منصور
١٨٨-	موت الأدب	ألفين كرنان	بدر الديب
١٨٩-	العمى والبصيرة	بول دى مان	سعيد الغانمى
١٩٠-	محاورات كونفوشيوس	كونفوشيوس	محسن سيد فرجانى
١٩١-	الكلام رأسمال	الحاج أبو بكر إمام	مصطفى حجازى السيد
١٩٢-	سياحت نامه إبراهيم بك (جـ١)	زين العابدين المراغى	محمود سلامة علاوى
١٩٣-	عامل المنجم	بيتر أبراهامز	محمد عبد الواحد محمد

١٩٤-	مختارات من النقد الأنجلو-أمريكي	مجموعة من النقاد	ماهر شفيق فريد
١٩٥-	شتاء ٨٤	إسماعيل فصيح	محمد علاء الدين منصور
١٩٦-	المهلة الأخيرة	فالتين راسبوتين	أشرف الصباغ
١٩٧-	الفاروق	شمس العلماء شبلى النعمانى	جلال السعيد الحفناوى
١٩٨-	الاتصال الجماهيرى	ادوين إمرى وآخرون	إبراهيم سلامة إبراهيم
١٩٩-	تاريخ يهود مصر فى الفترة العثمانية	يعقوب لانداوى	جمال أحمد الرفاعى وأحمد عبد اللطيف حماد
٢٠٠-	ضحايا التنمية	جيرمى سيبروك	فخرى لبيب
٢٠١-	الجانب الدينى للفلسفة	جوزايا رويس	أحمد الأنصارى
٢٠٢-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ٤)	رينيه ويليك	مجاهد عبد المنعم مجاهد
٢٠٣-	الشعر والشاعرية	ألطاف حسين حالى	جلال السعيد الحفناوى
٢٠٤-	تاريخ نقد العهد القديم	زالمان شازار	أحمد محمود هويدى
٢٠٥-	الجينات والشعوب واللغات	لويجى لوقا كافاللى- سفورزا	أحمد مستجير
٢٠٦-	الهيولية تصنع علماً جديداً	جيمس جلايك	على يوسف على
٢٠٧-	ليل أفريقى	رامون خوتاسندير	محمد أبو العطا
٢٠٨-	شخصية العربى فى المسرح الإسرائيلى	دان أوريان	محمد أحمد صالح
٢٠٩-	السرد والمسرح	مجموعة من المؤلفين	أشرف الصباغ
٢١٠-	مثنويات حكيم سنائى	سنائى الغزنوى	يوسف عبد الفتاح فرج
٢١١-	فرديناند دوسوسير	جوناثان كلر	محمود حمدى عبد الغنى
٢١٢-	قصص الأمير مرزبان	مرزبان بن رستم بن شروين	يوسف عبدالفتاح فرج
٢١٣-	مصر منذ قدوم نابليون حتى رحيل عبدالناصر	ريمون فلاور	سيد أحمد على الناصرى
٢١٤-	قواعد جديدة للمنهج فى علم الاجتماع	أنتونى جيدنز	محمد محمود محى الدين
٢١٥-	سياحت نامه إبراهيم بك (جـ٢)	زين العابدين المراغى	محمود سلامة علاوى
٢١٦-	جوانب أخرى من حياتهم	مجموعة من المؤلفين	أشرف الصباغ
٢١٧-	مسرحيتان طليعيتان	ص. بيكيت	نادية البنهاوى
٢١٨-	لعبة الحجلة (رايولا)	خوليو كورتازان	على إبراهيم منوفى
٢١٩-	بقايا اليوم	كازو ايشجورو	طلعت الشايب
٢٢٠-	الهيولية فى الكون	بارى باركر	على يوسف على
٢٢١-	شعرية كفافى	جريجورى جوزدانيس	رفعت سلام
٢٢٢-	فرانز كافكا	رونالد جراى	نسيم مجلى
٢٢٣-	العلم فى مجتمع حر	بول فيرابنر	السيد محمد نفادى
٢٢٤-	دمار يوغسلافيا	برانكا ماجاس	منى عبدالظاهر إبراهيم
٢٢٥-	حكاية غريق	جابرييل جارثيا ماركث	السيد عبدالظاهر السيد
٢٢٦-	أرض المساء وقصائد أخرى	ديفيد هربت لورانس	طاهر محمد على البربرى
٢٢٧-	المسرح الإسبانى فى القرن السابع عشر	موسى ماريا ديف بوركى	السيد عبدالظاهر عبدالله
٢٢٨-	علم الجمالية وعلم اجتماع الفن	جانيت وولف	مارى تيريز عبدالمسيح وخالد حسن
٢٢٩-	مأزق البطل الوحيد	نورمان كيجان	أمير إبراهيم العمرى
٢٣٠-	عن الذباب والفئران والبشر	فرانسواز جاكوب	مصطفى إبراهيم فهمى
٢٣١-	الدرافيل	خايمى سالوم بيدال	جمال عبدالرحمن
٢٣٢-	ما بعد المعلومات	توم ستينر	مصطفى إبراهيم فهمى

٢٣٣-	فكرة الاضمحلال	آرثر هومان	طلعت الشايب
٢٣٤-	الإسلام فى السودان	ج. سبنسر تريمنجهام	فؤاد محمد عكود
٢٣٥-	ديوان شمس تبريزى (جـ١)	مولانا جلال الدين الرومى	إبراهيم الدسوقى شتا
٢٣٦-	الولاية	ميشيل تود	أحمد الطيب
٢٣٧-	مصر أرض الوادى	روبين فيدين	عنايات حسين طلعت
٢٣٨-	العولمة والتحرير	الانكتاد	ياسر محمد جادالله وعربى مدبولى أحمد
٢٣٩-	العربى فى الأدب الإسرائيلى	جيلا رافر - رابوخ	نادية سليمان حافظ وإيهاب صلاح فايق
٢٤٠-	الإسلام والغرب وإمكانية الحوار	كامى حافظ	صلاح عبدالعزيز محجوب
٢٤١-	فى انتظار البرابرة	ج . م كويتز	ابتسام عبدالله سعيد
٢٤٢-	سبعة أنماط من الغموض	وليام إمبسون	صبرى محمد حسن عبدالنبى
٢٤٣-	تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج١)	ليفى بروفنسال	على عبدالروف البمبى
٢٤٤-	الغليان	لاورا إسكيبيل	نادية جمال الدين محمد
٢٤٥-	نساء مقاتلات	إليزابيتا أديس	توفيق على منصور
٢٤٦-	مختارات قصصية	جابرييل جارثيا ماركث	على إبراهيم منوفى
٢٤٧-	الثقافة الجماهيرية والحداثة فى مصر	والتر إرمبريست	محمد طارق الشرقاوى
٢٤٨-	حقول عدن الخضراء	أنطونيو جالا	عبداللطيف عبدالحليم
٢٤٩-	لغة التمزق	دراجو شتامبوك	رفعت سلام
٢٥٠-	علم اجتماع العلوم	دومنيك فينيك	ماجدة محسن أباظة
٢٥١-	موسوعة علم الاجتماع (جـ٢)	جوردن مارشال	بإشراف: محمد الجوهرى
٢٥٢-	رائدات الحركة النسوية المصرية	مارجو بدران	على بدران
٢٥٣-	تاريخ مصر الفاطمية	ل. أ. سيميونوفا	حسن بيومى
٢٥٤-	الفلسفة	ديف روبنسون وجودى جروفز	إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٥-	أفلاطون	ديف روبنسون وجودى جروفز	إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٦-	ديكارت	ديف روبنسون وكريس جرات	إمام عبد الفتاح إمام
٢٥٧-	تاريخ الفلسفة الحديثة	وليم كلى رايت	محمود سيد أحمد
٢٥٨-	الفجر	سير أنجوس فريزر	عُبادة كُحيلة
٢٥٩-	مختارات من الشعر الأرمنى عبر العصور	اقلام مختلفة	فاروجان كازانجيان
٢٦٠-	موسوعة علم الاجتماع (جـ٣)	جوردن مارشال	بإشراف: محمد الجوهرى
٢٦١-	رحلة فى فكر زكى نجيب محمود	زكى نجيب محمود	إمام عبد الفتاح إمام
٢٦٢-	مدينة المعجزات	إدوارد مندوثا	محمد أبو العطا
٢٦٣-	الكشف عن حافة الزمن	جون جريين	على يوسف على
٢٦٤-	إبداعات شعرية مترجمة	هوراس وشلى	لويس عوض
٢٦٥-	روايات مترجمة	أوسكار وايلد وصمويل جونسون	لويس عوض
٢٦٦-	مدير المدرسة	جلال آل أحمد	عادل عبدالمنعم سويلم
٢٦٧-	فن الرواية	ميلان كونديرا	بدر الدين عرودكى
٢٦٨-	ديوان شمس تبريزى (جـ٢)	مولانا جلال الدين الرومى	إبراهيم الدسوقى شتا
٢٦٩-	وسط الجزيرة العربية وشرقها (جـ١)	وليم جيفور بالجريف	صبرى محمد حسن
٢٧٠-	وسط الجزير العربية وشرقها (جـ٢)	وليم جيفور بالجريف	صبرى محمد حسن
٢٧١-	الحضارة الغربية	توماس سى. باترسون	شوقى جلال

٢٧٢-	الأديرة الأثرية فى مصر	س. س والترز	إبراهيم سلامة
٢٧٣-	الاستعمار والثورة فى الشرق الأوسط	جوان آر. لوك	عنان الشهاوى
٢٧٤-	السيدة باربارا	روميلو جلاجوس	محمود على مكى
٢٧٥-	ت. س إليوت شاعراً وناقداً وكاتباً مسرحياً	أقلام مختلفة	ماهر شفيق فريد
٢٧٦-	فنون السينما	فرانك جوتيران	عبد القادر التلمسانى
٢٧٧-	الجينات: الصراع من أجل الحياة	بريان فورد	أحمد فوزى
٢٧٨-	البدايات	إسحق عظيموف	ظريف عبدالله
٢٧٩-	الحرب الباردة الثقافية	ف.س. سوندرز	طلعت الشايب
٢٨٠-	من الأدب الهندى الحديث والمعاصر	بريم شند وآخرون	سمير عبدالحميد
٢٨١-	الفردوس الأعلى	مولانا عبد الحليم شرر الكهنوى	جلال الحفناوى
٢٨٢-	طبيعة العلم غير الطبيعية	لويس وليبرت	سمير حنا صادق
٢٨٣-	السهل يحترق	خوان رولفو	على البمبى
٢٨٤-	هرقل مجنوناً	يوريبيدس	أحمد عتمان
٢٨٥-	رحلة الخواجة حسن نظامى	حسن نظامى	سمير عبد الحميد
٢٨٦-	سياحت نامه إبراهيم بك (جـ٣)	زين العابدين المراغى	محمود سلامة علاوى
٢٨٧-	الثقافة والعولمة والنظام العالمى	انتونى كنج	محمد يحيى وآخرون
٢٨٨-	الفن الروائى	ديفيد لودج	ماهر البطوطى
٢٨٩-	ديوان منجوهرى الدامغانى	أبو نجم أحمد بن قوص	محمد نور الدين عبدالمنعم
٢٩٠-	علم اللغة والترجمة	جورج مونان	أحمد زكريا إبراهيم
٢٩١-	المسرح الإسبانى فى القرن العشرين (جـ١)	فرانشسكو رويس رامون	السيد عبد الظاهر
٢٩٢-	المسرح الإسبانى فى القرن العشرين (جـ٢)	فرانشسكو رويس رامون	السيد عبد الظاهر
٢٩٣-	مقدمة للأدب العربى	روجر آلن	نخبة من المترجمين
٢٩٤-	فن الشعر	بوالو	رجاء ياقوت صالح
٢٩٥-	سلطان الأسطورة	جوزيف كامبل	بدر الدين حب الله الديب
٢٩٦-	مكبث	وليم شكسبير	محمد مصطفى بدوى
٢٩٧-	فن النحو بين اليونانية والسريانية	ديونيسيوس ثراكس ويوسف الأهوانى	ماجدة محمد أنور
٢٩٨-	مأساة العبيد	أبو بكر تفاوابليوه	مصطفى حجازى السيد
٢٩٩-	ثورة فى التكنولوجيا الحيوية	جين ل. ماركس	هاشم أحمد فؤاد
٣٠٠-	أسطورة بروميثيوس فى الأدبين الإنجليزى والفرنسى (مج١)	لويس عوض	جمال الجزيرى وبهاء چاهين وإيزابيل كمال
٣٠١-	أسطورة بروميثيوس فى الأدبين الإنجليزى والفرنسى (مج٢)	لويس عوض	جمال الجزيرى و محمد الجندى
٣٠٢-	فتجنشتين	جون هيتون وجودى جروفز	إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٣-	بوذا	جين هوب وبورن فان لون	إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٤-	ماركس	ريوس	إمام عبد الفتاح إمام
٣٠٥-	الجلد	كروزيو مالابارته	صلاح عبد الصبور
٣٠٦-	الحماسة: النقد الكانطى للتاريخ	چان فرانسوا ليوتار	نبيل سعد
٣٠٧-	الشعور	ديفيد بابينو	محمود محمد أحمد
٣٠٨-	علم الوراثة	ستيف جونز	ممدوح عبد المنعم أحمد
٣٠٩-	الذهن والمخ	أنجوس چيلاتى	جمال الجزيرى
٣١٠-	يونج	ناجى هيد	محيى الدين محمد حسن

٣١١-	مقال فى المنهج الفلسفى	كولنجوود	فاطمة إسماعيل
٣١٢-	روح الشعب الأسود	وليم دى بويز	أسعد حليم
٣١٣-	أمثال فلسطينية	خابير بيان	عبدالله الجعيدى
٣١٤-	الفن كعدم	جينس ميتيك	هويدا السباعى
٣١٥-	جرامشى فى العالم العربى	ميشيل بروندينو	كاميليا صبحى
٣١٦-	محاكمة سقراط	آ.ف. ستون	نسيم مجلى
٣١٧-	بلا غد	شير لايموفا- زنيكين	أشرف الصباغ
٣١٨-	الأدب الروسى فى السنوات العشر الأخيرة	نخبة	أشرف الصباغ
٣١٩-	صور دريدا	جايتر ياسبيفاك وكرستوفر نوريس	حسام نايل
٣٢٠-	لمعة السراج فى حضرة التاج	مؤلف مجهول	محمد علاء الدين منصور
٣٢١-	تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج٢، جـ١)	ليفى برو فنسال	نخبة من المترجمين
٣٢٢-	وجهات غربية حديثة فى تاريخ الفن	دبليو بوجين كلينباور	خالد مفلح حمزة
٣٢٣-	فن الساتورا	تراث يونانى قديم	هانم سليمان
٣٢٤-	اللعب بالنار	أشرف أسدى	محمود سلامة علاوى
٣٢٥-	عالم الآثار	فيليب بوسان	كرستين يوسف
٣٢٦-	المعرفة والمصلحة	جورجين هابرماس	حسن صقر
٣٢٧-	مختارات شعرية مترجمة (جـ١)	نخبة	توفيق على منصور
٣٢٨-	يوسف وزليخا	نور الدين عبد الرحمن بن أحمد	عبد العزيز بقوش
٣٢٩-	رسائل عيد الميلاد	تد هيوز	محمد عيد إبراهيم
٣٣٠-	كل شىء عن التمثيل الصامت	مارفن شبرد	سامى صلاح
٣٣١-	عندما جاء السردين	ستيفن جراى	سامية دياب
٣٣٢-	القصة القصيرة فى إسبانيا	نخبة	على إبراهيم منوفى
٣٣٣-	الإسلام فى بريطانيا	نبيل مطر	بكر عباس
٣٣٤-	لقطات من المستقبل	آرثر س كلارك	مصطفى فهمى
٣٣٥-	عصر الشك	ناتالى ساروت	فتحى العشرى
٣٣٦-	متون الأهرام	نصوص قديمة	حسن صابر
٣٣٧-	فلسفة الولاء	جوزايا رويس	أحمد الأنصارى
٣٣٨-	نظرات حائرة (وقصص أخرى من الهند)	نخبة	جلال السعيد الحفناوى
٣٣٩-	تاريخ الأدب فى إيران (جـ٣)	على أصغر حكمت	محمد علاء الدين منصور
٣٤٠-	اضطراب فى الشرق الأوسط	بيرش بيربيروجلو	فخرى لبيب
٣٤١-	قصائد من رلكه	راينر ماريا رلكه	حسن حلمى
٣٤٢-	سلامان وأبسال	نور الدين عبدالرحمن بن أحمد	عبد العزيز بقوش
٣٤٣-	العالم البرجوازى الزائل	نادين جورديمر	سمير عبد ربه
٣٤٤-	الموت فى الشمس	بيتر بلانجوه	سمير عبد ربه
٣٤٥-	الركض خلف الزمن	بونه ندائى	يوسف عبد الفتاح فرج
٣٤٦-	سحر مصر	رشاد رشدى	جمال الجزيرى
٣٤٧-	الصبية الطائشون	جان كوكتو	بكر الحلو
٣٤٨-	المتصوفة الأولون فى الأدب التركى (جـ١)	محمد فؤاد كوبريلى	عبدالله أحمد إبراهيم
٣٤٩-	دليل القارئ إلى الثقافة الجادة	آرثر والدرون وآخرون	أحمد عمر شاهين

٣٥٠-	بانوراما الحياة السياحية	أقلام مختلفة	عطية شحاتة
٣٥١-	مبادئ المنطق	جوزايا رويس	أحمد الانصارى
٣٥٢-	قصائد من كفافيس	قسطنطين كفافيس	نعيم عطية
٣٥٣-	الفن الإسلامى فى الأندلس (الزخرفة الهندسية)	باسيليو بابون مالدوناند	على إبراهيم منوفى
٣٥٤-	الفن الإسلامى فى الأندلس (الزخرفة النباتية)	باسيليو بابون مالدوناند	على إبراهيم منوفى
٣٥٥-	التيارات السياسية فى إيران	حجت مرتضى	محمود سلامة علاوى
٣٥٦-	الميراث المر	بول سالم	بدر الرفاعى
٣٥٧-	متون هيرميس	نصوص قديمة	عمر الفاروق عمر
٣٥٨-	أمثال الهوسا العامية	نخبة	مصطفى حجازى السيد
٣٥٩-	محاورات بارمنيدس	أفلاطون	حبيب الشارونى
٣٦٠-	أنثروبولوجيا اللغة	أندريه جاكوب ونويلا باركان	ليلى الشربينى
٣٦١-	التصحر: التهديد والمجابهة	آلان جرينجر	عاطف معتمد وآمال شاور
٣٦٢-	تلميذ بابنبيرج	هاينرش شبورال	سيد أحمد فتح الله
٣٦٣-	حركات التحرير الأفريقية	ريتشارد جيبسون	صبرى محمد حسن
٣٦٤-	حداثة شكسبير	إسماعيل سراج الدين	نجلاء أبو عجاج
٣٦٥-	سأم باريس	شارل بودلير	محمد أحمد حمد
٣٦٦-	نساء يركضن مع الذئاب	كلاريسا بنكولا	مصطفى محمود محمد
٣٦٧-	القلم الجرىء	نخبة	البرّاق عبدالهادى رضا
٣٦٨-	المصطلح السردى	جيرالد برنس	عابد خزندار
٣٦٩-	المرأة فى أدب نجيب محفوظ	فوزية العشماوى	فوزية العشماوى
٣٧٠-	الفن والحياة فى مصر الفرعونية	كليرلا لويت	فاطمة عبدالله محمود
٣٧١-	المتصوفة الأولون فى الأدب التركى (جـ٢)	محمد فؤاد كوبريلى	عبدالله أحمد إبراهيم
٣٧٢-	عاش الشباب	وانغ مينغ	وحيد السعيد عبدالحميد
٣٧٣-	كيف تعد رسالة دكتوراه	أمبرتو إيكو	على إبراهيم منوفى
٣٧٤-	اليوم السادس	أندريه شديد	حمادة إبراهيم
٣٧٥-	الخلود	ميلان كونديرا	خالد أبو اليزيد
٣٧٦-	الغضب وأحلام السنين	نخبة	إدوار الخراط
٣٧٧-	تاريخ الأدب فى إيران (جـ٤)	على أصغر حكمت	محمد علاء الدين منصور
٣٧٨-	المسافر	محمد إقبال	يوسف عبدالفتاح فرج
٣٧٩-	ملك فى الحديقة	سنيل باث	جمال عبدالرحمن
٣٨٠-	حديث عن الخسارة	جونتر جراس	شيرين عبدالسلام
٣٨١-	أساسيات اللغة	ر. ل. تراسك	رانيا إبراهيم يوسف
٣٨٢-	تاريخ طبرستان	بهاء الدين محمد إسفنديار	أحمد محمد نادى
٣٨٣-	هدية الحجاز	محمد إقبال	سمير عبدالحميد إبراهيم
٣٨٤-	القصص التى يحكيها الأطفال	سوزان إنجيل	إيزابيل كمال
٣٨٥-	مشترى العشق	محمد على بهزادراد	يوسف عبدالفتاح فرج
٣٨٦-	دفاعاً عن التاريخ الأدبى النسوى	جانيت تود	ريهام حسين إبراهيم
٣٨٧-	أغنيات وسوناتات	جون دن	بهاء جاهين
٣٨٨-	مواعظ سعدى الشيرازى	سعدى الشيرازى	محمد علاء الدين منصور

٣٨٩-	من الأدب الباكستانى المعاصر	نخبة	سمير عبدالحميد إبراهيم
٣٩٠-	الأرشيفات والمدن الكبرى	نخبة	عثمان مصطفى عثمان
٣٩١-	الحافلة الليلكية	مايف بينشى	منى الدروبى
٣٩٢-	مقامات ورسائل أندلسية	نخبة	عبداللطيف عبدالحليم
٣٩٣-	فى قلب الشرق	ندوة لويس ماسينيون	زينب محمود الخضيرى
٣٩٤-	القوى الأربع الأساسية فى الكون	بول ديفيز	هاشم أحمد محمد
٣٩٥-	آلام سياوش	إسماعيل فصيح	سليم حمدان
٣٩٦-	السافاك	تقى نجارى راد	محمود سلامة علاوى
٣٩٧-	نيتشه	لورانس جين	إمام عبدالفتاح إمام
٣٩٨-	سارتر	فيليب تودى	إمام عبدالفتاح إمام
٣٩٩-	كامى	ديفيد ميروفتس	إمام عبدالفتاح إمام
٤٠٠-	مومو	مشيائيل إنده	باهر الجوهرى
٤٠١-	الرياضيات	زيادون ساردر	ممدوح عبد المنعم
٤٠٢-	هوكنج	ج. ب. ماك ايفوى	ممدوح عبدالمنعم
٤٠٣-	ربة المطر والملابس تصنع الناس	تودور شتورم	عماد حسن بكر
٤٠٤-	تعويذة الحسى	ديفيد إبرام	ظبية خميس
٤٠٥-	إيزابيل	أندريه جيد	حمادة إبراهيم
٤٠٦-	المستعربون الإسبان فى القرن ١٩	مانويلا مانتاناريس	جمال عبد الرحمن
٤٠٧-	الأدب الإسبانى المعاصر بأقلام كتابه	أقلام مختلفة	طلعت شاهين
٤٠٨-	معجم تاريخ مصر	جوان فوتشركنج	عنان الشهاوى
٤٠٩-	انتصار السعادة	برتراند راسل	إلهامى عمارة
٤١٠-	خلاصة القرن	كارل بوبر	الزواوى بغورة
٤١١-	همس من الماضى	جينيفر أكرمان	أحمد مستجير
٤١٢-	تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج٢، جـ٢)	ليفى بروفنسال	نخبة
٤١٣-	أغنيات المنفى	ناظم حكمت	محمد البخارى
٤١٤-	الجمهورية العالمية للآداب	باسكال كازانوفا	أمل الصبان
٤١٥-	صورة كوكب	فريدريش دورنيمات	أحمد كامل عبدالرحيم
٤١٦-	مبادئ النقد الأدبى والعلم والشعر	أ. أ. رتشاردز	مصطفى بدوى
٤١٧-	تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ٥)	رينيه ويليك	مجاهد عبدالمنعم مجاهد
٤١٨-	سياسات الزمر الحاكمة فى مصر العثمانية	جين هاثواى	عبد الرحمن الشيخ
٤١٩-	العصر الذهبى للإسكندرية	جون مارلو	نسيم مجلى
٤٢٠-	مكرو ميجاس	فولتير	الطيب بن رجب
٤٢١-	الولاء والقيادة	روى متحدة	أشرف محمد كيلانى
٤٢٢-	رحلة لاستكشاف أفريقيا (جـ١)	نخبة	عبدالله عبدالرازق إبراهيم
٤٢٣-	إسراءات الرجل الطيف	نخبة	وحيد النقاش
٤٢٤-	لوائح الحق ولوامع العشق	نور الدين عبدالرحمن الجامى	محمد علاء الدين منصور
٤٢٥-	من طاووس إلى فرح	محمود طلوعى	محموبد سلامة علاوى
٤٢٦-	الخفافيش وقصص أخرى	نخبة	محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
٤٢٧-	باندراس الطاغية	باى إنكلان	ثريا شلبى

٤٢٨-	الخزانة الخفية	محمد هوتك	محمد أمان صافي
٤٢٩-	هيجل	ليود سبنسر وأندرزجي كروز	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٠-	كانط	كرستوفر وانت وأندزجي كليموفسكي	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣١-	فوكو	كريس هورويكس وزوران جفتيك	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٢-	ماكيافللي	باتريك كيري وأوسكار زاريت	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٣-	جويس	ديفيد نوريس وكارل فلنت	حمدي الجابري
٤٣٤-	الرومانسية	دونكان هيث وجودي بورهام	عصام حجازي
٤٣٥-	توجهات ما بعد الحداثة	نيكولاس زربرج	ناجي رشوان
٤٣٦-	تاريخ الفلسفة (مج١)	فردريك كوبلستون	إمام عبدالفتاح إمام
٤٣٧-	رحالة هندي في بلاد الشرق	شبلي النعماني	جلال السعيد الحفناوي
٤٣٨-	بطلات وضحايا	إيمان ضياء الدين بيبرس	عايدة سيف الدولة
٤٣٩-	موت المرابي	صدر الدين عيني	محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب
٤٤٠-	قواعد اللهجات العربية	كرستن بروستاد	محمد طارق الشرقاوي
٤٤١-	رب الأشياء الصغيرة	أرونداتي روي	فخري لبيب
٤٤٢-	حتشبسوت (المرأة الفرعونية)	فوزية أسعد	ماهر جويجاتي
٤٤٣-	اللغة العربية	كيس فرستيغ	محمد طارق الشرقاوي
٤٤٤-	أمريكا اللاتينية: الثقافات القديمة	لاوريت سيجورنه	صالح علماني
٤٤٥-	حول وزن الشعر	پرويز ناتل خانلري	محمد محمد يونس
٤٤٦-	التحالف الأسود	ألكسندر كوكبرن وجيفري سانت كلير	أحمد محمود
٤٤٧-	نظرية الكم	ج. پ. ماك إيفوي	ممدوح عبدالمنعم
٤٤٨-	علم نفس التطور	ديلان إيفانز وأوسكار زاريت	ممدوح عبدالمنعم
٤٤٩-	الحركة النسائية	نخبة	جمال الجزيري
٤٥٠-	ما بعد الحركة النسائية	صوفيا فوكا وريبيكا رايت	جمال الجزيري
٤٥١-	الفلسفة الشرقية	ريتشارد أوزبورن وبورن فان لون	إمام عبد الفتاح إمام
٤٥٢-	لينين والثورة الروسية	ريتشارد إيجناتري وأوسكار زاريت	محيي الدين مزيد
٤٥٣-	القاهرة: إقامة مدينة حديثة	جان لوك أرنو	حليم طوسون وفؤاد الدهان
٤٥٤-	خمسون عاماً من السينما الفرنسية	رينيه بريدال	سوزان خليل
٤٥٥-	تاريخ الفلسفة الحديثة (مج٥)	فردريك كوبلستون	محمود سيد أحمد
٤٥٦-	لا تنسني	مريم جعفري	هويدا عزت محمد
٤٥٧-	النساء في الفكر السياسي الغربي	سوزان مولر أوكين	إمام عبدالفتاح إمام
٤٥٨-	الموريسكيون الأندلسيون	مرثيدس غارثيا أرينال	جمال عبد الرحمن
٤٥٩-	نحو مفهوم لاقتصاديات الموارد الطبيعية	توم تيتنبرج	جلال البنا
٤٦٠-	الفاشية والنازية	ستوارت هود وليتزا جانستز	إمام عبدالفتاح إمام
٤٦١-	لكان	داريان ليدر وجودي جروفز	إمام عبدالفتاح إمام
٤٦٢-	طه حسين من الأزهر إلى السوربون	عبدالرشيد الصادق محمودي	عبدالرشيد الصادق محمودي
٤٦٣-	الدولة المارقة	ويليام بلوم	كمال السيد
٤٦٤-	ديمقراطية للقلة	مايكل بارنتي	حصة إبراهيم المنيف
٤٦٥-	قصص اليهود	لويس جنزبرج	جمال الرفاعي
٤٦٦-	حكايات حب وبطولات فرعونية	فيولين فانويك	فاطمة محمود

٤٦٧- التفكير السياسى	ستيفين ديلو	ربيع وهبة
٤٦٨- روح الفلسفة الحديثة	جوزايا رويس	أحمد الأنصارى
٤٦٩- جلال الملوك	نصوص حبشية قديمة	مجدى عبدالرازق
٤٧٠- الأراضى والجودة البيئية	نخبة	محمد السيد النثة
٤٧١- رحلة لاستكشاف أفريقيا (جـ٢)	نخبة	عبد الله عبد الرازق إبراهيم
٤٧٢- دون كيخوتى (القسم الأول)	ميجيل دى ثربانتس سابيدرا	سليمان العطار
٤٧٣- دون كيخوتى (القسم الثانى)	ميجيل دى ثربانتس سابيدرا	سليمان العطار
٤٧٤- الأدب والنسوية	بام موريس	سهام عبدالسلام
٤٧٥- صوت مصر: أم كلثوم	فرجينيا دانيلسون	عادل هلال عنانى
٤٧٦- أرض الحبايب بعيدة: بيرم التونسى	ماريلين بوث	سحر توفيق
٤٧٧- تاريخ الصين	هيلدا هوخام	أشرف كيلانى
٤٧٨- الصين والولايات المتحدة	ليوشيه شنج و لى شى دونج	عبد العزيز حمدى
٤٧٩- المقهـــى (مسرحية صينية)	لاوشه	عبد العزيز حمدى
٤٨٠- تساى ون جى (مسرحية صينية)	كو مو روا	عبد العزيز حمدى
٤٨١- عباءة النبى	روى متحدة	رضوان السيد
٤٨٢- موسوعة الأساطير والرموز الفرعونية	روبير جاك تيبو	فاطمة محمود
٤٨٣- النسوية وما بعد النسوية	سارة جامبل	أحمد الشامى
٤٨٤- جمالية التلقى	هانسن روبيرت ياوس	رشيد بنحدو
٤٨٥- التوبة (رواية)	نذير أحمد الدهلوى	سمير عبدالحميد إبراهيم
٤٨٦- الذاكرة الحضارية	يان أسمن	عبدالحليم عبدالغنى رجب
٤٨٧- الرحلة الهندية إلى الجزيرة العربية	رفيع الدين المراد آبادى	سمير عبدالحميد إبراهيم
٤٨٨- الحب الذى كان وقصائد أخرى	نخبة	سمير عبدالحميد إبراهيم
٤٨٩- هُسِّرل: الفلسفة علماً دقيقاً	هُسِّرل	محمود رجب
٤٩٠- أسمار الببغاء	محمد قادرى	عبد الوهاب علوب
٤٩١- نصوص قصصية من روائع الأدب الأفريقى	نخبة	سمير عبد ربه
٤٩٢- محمد على مؤسس مصر الحديثة	جى فارجيت	محمد رفعت عواد
٤٩٣- خطابات إلى طالب الصوتيات	هارولد بالمر	محمد صالح الضالع
٤٩٤- كتاب الموتى (الخروج فى النهار)	نصوص مصرية قديمة	شريف الصيفى
٤٩٥- اللوبى	إدوارد تيفان	حسن عبد ربه المصرى
٤٩٦- الحكم والسياسة فى أفريقيا (جـ١)	إكوادو بانولى	نخبة
٤٩٧- العلمانية والنوع والدولة فى الشرق الأوسط	نادية العلىّ	مصطفى رياض
٤٩٨- النساء والنوع فى الشرق الأوسط الحديث	جوديث تاكر ومارجريت مريويذ	أحمد على بدوى
٤٩٩- تقاطعات: الأمة والمجتمع والجنس	نخبة	فيصل بن خضراء
٥٠٠- فى طفولتى (دراسة فى السيرة الذاتية العربية)	تيتز رووكى	طلعت الشايب
٥٠١- تاريخ النساء فى الغرب (جـ١)	أرلت جولد هامر	سحر فراج
٥٠٢- أصوات بديلة	هدى الصدّة	هالة كمال
٥٠٣- مختارات من الشعر الفارسى الحديث	نخبة	محمد نور الدين عبدالمنعم
٥٠٤- كتابات أساسية (جـ١)	مارتن هايدجر	إسماعيل المصدق
٥٠٥- كتابات أساسية (جـ٢)	مارتن هايدجر	إسماعيل المصدق

٥٠٦-	ربما كان قديساً	آن تيلر	عبدالحميد فهمى الجمال
٥٠٧-	سيدة الماضى الجميل	بيتر شيفر	شوقى فهيم
٥٠٨-	المولوية بعد جلال الدين الرومى	عبدالباقى جلبنارلى	عبدالله أحمد إبراهيم
٥٠٩-	الفقر والإحسان فى عهد سلاطين المماليك	آدم صبرة	قاسم عبده قاسم
٥١٠-	الأرملة الماكرة	كارلو جولدونى	عبدالرازق عيد
٥١١-	كوكب مرقَّع	آن تيلر	عبدالحميد فهمى الجمال
٥١٢-	كتابة النقد السينمائى	تيموثى كوريجان	جمال عبد الناصر
٥١٣-	العلم الجسور	تيد أنتون	مصطفى إبراهيم فهمى
٥١٤-	مدخل إلى النظرية الأدبية	جونثان كولر	مصطفى بيومى عبد السلام
٥١٥-	من التقليد إلى ما بعد الحداثة	فدوى مالطى دوجلاس	فدوى مالطى دوجلاس
٥١٦-	إرادة الإنسان فى شفاء الإدمان	أرنولد واشنطون ودونا باوندى	صبرى محمد حسن
٥١٧-	نقش على الماء وقصص أخرى	نخبة	سمير عبد الحميد إبراهيم
٥١٨-	استكشاف الأرض والكون	إسحق عظيموف	هاشم أحمد محمد
٥١٩-	محاضرات فى المثالية الحديثة	جوزايا رويس	أحمد الأنصارى
٥٢٠-	الولع بمصر من الحلم إلى المشروع	أحمد يوسف	أمل الصبان
٥٢١-	قاموس تراجم مصر الحديثة	آرثر جولد سميث	عبدالوهاب بكر
٥٢٢-	إسبانيا فى تاريخها	أميركو كاسترو	على إبراهيم منوفى
٥٢٣-	الفن الطليطلى الإسلامى والمدجن	باسيليو بابون مالدونادو	على إبراهيم منوفى
٥٢٤-	الملك لير	وليم شكسبير	محمد مصطفى بدوى
٥٢٥-	موسم صيد فى بيروت وقصص أخرى	دنيس جونسون رزيفز	نادية رفعت
٥٢٦-	علم السياسة البيئية	ستيفن كرول وليم رانكين	محيى الدين مزيد
٥٢٧-	كافكا	ديفيد زين ميروفتس وروبرت كرمب	جمال الجزيرى
٥٢٨-	تروتسكى والماركسية	طارق على وفِلْ إيفانز	جمال الجزيرى
٥٢٩-	بدائع العلامة إقبال فى شعره الأردى	محمد إقبال	حازم محفوظ وحسين نجيب المصرى
٥٣٠-	مدخل عام إلى فهم النظريات التراثية	رينيه جينو	عمر الفاروق عمر
٥٣١-	ما الذى حَدَثَ فى «حَدَث» ١١ سبتمبر؟	چاك دريدا	صفاء فتحى
٥٣٢-	المغامر والمستشرق	هنرى لورنس	بشير السباعى
٥٣٣-	تعلُّم اللغة الثانية	سوزان جاس	محمد الشرقاوى
٥٣٤-	الإسلاميون الجزائريون	سيڤرين لابا	حمادة إبراهيم
٥٣٥-	مخزن الأسرار	نظامى الكنجوى	عبدالعزيز بقوش
٥٣٦-	الثقافات وقيم التقدم	صمويل هنتنجتون	شوقى جلال
٥٣٧-	الحب والحرية	نخبة	عبدالغفار مكاوى
٥٣٨-	النفس والآخر فى قصص يوسف الشارونى	كيت دانيلر	محمد الحديدى
٥٣٩-	خمس مسرحيات قصيرة	كاريل تشرشل	محسن مصيلحى
٥٤٠-	توجهات بريطانية - شرقية	السير رونالد ستورس	رءوف عباس
٥٤١-	هى تتخيل وهلاوس أخرى	خوان خوسيه مياس	مروة رزق
٥٤٢-	قصص مختارة من الأدب اليونانى الحديث	نخبة	نعيم عطية
٥٤٣-	السياسة الأمريكية	باتريك بروجان وكريس جرات	وفاء عبدالقادر
٥٤٤-	ميلانى كلاين	نخبة	حمدى الجابرى

٥٤٥–	يا له من سباق محموم	فرانسيس كريك	عزت عامر
٥٤٦–	ريموس	ت. ب. وايزمان	توفيق على منصور
٥٤٧–	بارت	فيليب ثودى وآن كورس	جمال الجزيرى
٥٤٨–	علم الاجتماع	ريتشارد أوزبرن وبورن فان لون	حمدى الجابرى
٥٤٩–	علم العلامات	بول كوبلى وليتساجانز	جمال الجزيرى
٥٥٠–	شكسبير	نيك جروم وبيرو	حمدى الجابرى
٥٥١–	الموسيقى والعولمة	سايمون ماندى	سمحة الخولى
٥٥٢–	قصص مثالية	ميجيل دى ثربانتس	على عبد الرءوف البمبى
٥٥٣–	مدخل للشعر الفرنسى الحديث والمعاصر	دانيال لوقرس	رجاء ياقوت
٥٥٤–	مصر فى عهد محمد على	عفاف لطفى السيد مارسوه	عبدالسميع عمر زين الدين
٥٥٥–	الإستراتيجية الأمريكية للقرن الحادى والعشرين	أناتولى أوتكين	أنور محمد إبراهيم ومحمد نصرالدين الجبالى
٥٥٦–	چان بودريار	كريس هوروكس وزوران جيفتك	حمدى الجابرى
٥٥٧–	الماركيز دى ساد	ستوارت هود وجراهام كرولى	إمام عبدالفتاح إمام
٥٥٨–	الدراسات الثقافية	زيودين ساردار وبورين ڤان لون	إمام عبدالفتاح إمام
٥٥٩–	الماس الزائف	تشا تشاجى	عبدالحى أحمد سالم
٥٦٠–	صلصلة الجرس	نخبة	جلال السعيد الحفناوى
٥٦١–	جناح جبريل	محمد إقبال	جلال السعيد الحفناوى
٥٦٢–	بلايين وبلايين	كارل ساجان	عزت عامر
٥٦٣–	ورود الخريف	خاثينتو بينابينتى	صبرى محمدى التهامى
٥٦٤–	عُش الغريب	خاثينتو بينابينتى	صبرى محمدى التهامى
٥٦٥–	الشرق الأوسط المعاصر	ديبورا . ج. جيرنر	أحمد عبدالحميد أحمد
٥٦٦–	تاريخ أوروبا فى العصور الوسطى	موريس بيشوب	على السيد على
٥٦٧–	الوطن المغتصب	مايكل رايس	إبراهيم سلامة إبراهيم
٥٦٨–	الأصولى فى الرواية	عبد السلام حيدر	عبد السلام حيدر
٥٦٩–	موقع الثقافة	هومى. ك. بابا	ثائر ديب
٥٧٠–	دول الخليج الفارسى	سير روبرت هاى	يوسف الشارونى
٥٧١–	تاريخ النقد الإسبانى المعاصر	إيميليا دى ثوليتا	السيد عبد الظاهر
٥٧٢–	الطب فى زمن الفراعنة	برونو أليوا	كمال السيد
٥٧٣–	فرويد	ريتشارد ابيجنانس وأسكار زارتى	جمال الجزيرى
٥٧٤–	مصر القديمة فى عيون الإيرانيين	حسن بيرنيا	علاء الدين عبد العزيز السباعى
٥٧٥–	الاقتصاد السياسى للعولمة	نجير وودز	أحمد محمود
٥٧٦–	فكر ثربانتس	أمريكو كاسترو	ناهد العشرى محمد
٥٧٧–	مغامرات بينوكيو	كارلو كولودى	محمد قدرى عمارة
٥٧٨–	الجماليات عند كيتس وهنت	أيومى ميزوكوشى	محمد إبراهيم وعصام عبد الرءوف
٥٧٩–	تشومسكى	چون ماهر وچودى جرونز	محيى الدين مزيد
٥٨٠–	دائرة المعارف الدولية (جـ١)	جون فيزر وبول سيترجز	محمد فتحى عبدالهادى
٥٨١–	الحمقى يموتون	ماريو بوزو	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٢–	مرايا الذات	هوشنك كلشيرى	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٣–	الجيران	أحمد محمود	سليم عبد الأمير حمدان

٥٨٤-	سفر	محمود دولت آبادی	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٥-	الأمير احتجاب	هوشنك كلشيرى	سليم عبد الأمير حمدان
٥٨٦-	السينما العربية والأفريقية	ليزبيث مالكموس وروى آرمز	سهام عبد السلام
٥٨٧-	تاريخ تطور الفكر الصينى	نخبة	عبدالعزيز حمدى
٥٨٨-	أمنحوتپ الثالث	أنييس كابرول	ماهر جويجاتى
٥٨٩-	تمبكت العجيبة	فيلكس ديبواه	عبدالله عبدالرازق إبراهيم
٥٩٠-	أساطير من الموروثات الشعبية الفنلندية	نخبة	محمود مهدى عبدالله
٥٩١-	الشاعر والمفكر	هوراتيوس	على عبدالتواب على وصلاح رمضان السيد
٥٩٢-	الثورة المصرية	محمد صبرى السوربونى	مجدى عبدالحافظ وعلى كورخان
٥٩٣-	قصائد ساحرة	بول فاليرى	بكر الحلو
٥٩٤-	القلب السمين	سوزانا تامارو	أمانى فوزى
٥٩٥-	الحكم والسياسة فى أفريقيا (جـ٢)	إكوانو بانولى	نخبة
٥٩٦-	الصحة العقلية فى العالم	روبرت ديجارليه وآخرون	إيهاب عبدالرحيم محمد
٥٩٧-	مسلمو غرناطة	خوليو كاروباروخا	جمال عبدالرحمن
٥٩٨-	مصر وكنعان وإسرائيل	دونالد ريدفورد	بيومى على قنديل
٥٩٩-	فلسفة الشرق	هرداد مهرين	محمود سلامة علاوى
٦٠٠-	الإسلام فى التاريخ	برنارد لويس	مدحت طه
٦٠١-	النسوية والمواطنة	ريان فوت	أيمن بكر وسمر الشيشكلى
٦٠٢-	ليوتار:نحو فلسفة ما بعد حداثية	چيمس وليامز	إيمان عبدالعزيز
٦٠٣-	النقد الثقافى	آرثر أيزابرجر	وفاء إبراهيم ورمضان بسطاويسى
٦٠٤-	الكوارث الطبيعية (جـ١)	باتريك ل. آبوت	توفيق على منصور
٦٠٥-	مخاطر كوكبنا المضطرب	إرنست زيبروسكى الصغير	مصطفى إبراهيم فهمى
٦٠٦-	قصة البردى اليونانى فى مصر	ريتشارد هاريس	محمود إبراهيم السعدنى
٦٠٧-	قلب الجزيرة العربية (جـ١)	هارى سينت فيلبى	صبرى محمد حسن
٦٠٨-	قلب الجزيرة العربية (جـ٢)	هارى سينت فيلبى	صبرى محمد حسن
٦٠٩-	الانتخاب الثقافى	أجنر فوج	شوقى جلال
٦١٠-	العمارة المدجنة	رفائيل لوبث جوثمان	على إبراهيم منوفى
٦١١-	النقد والأيديولوجية	تيرى إيجلتون	فخرى صالح
٦١٢-	رسالة النفسية	فضل الله بن حامد الحسينى	محمد محمد يونس
٦١٣-	السياحة والسياسة	كولن مايكل هول	محمد فريد حجاب
٦١٤-	بيت الأقصر الكبير	فوزية أسعد	منى قطان
٦١٥-	عرض الأحداث التى وقعت فى بغداد	أليس بسيرينى	محمد رفعت عواد
٦١٦-	أساطير بيضاء	روبرت يانج	أحمد محمود
٦١٧-	الفولكلور والبحر	هوراس بيك	أحمد محمود
٦١٨-	نحو مفهوم لاقتصاديات الصحة	تشارلز فيليبس	جلال البنا
٦١٩-	مفاتيح أورشليم القدس	ريمون استانبولى	عايدة الباجورى
٦٢٠-	السلام الصليبى	توماش ماستناك	بشير السباعى
٦٢١-	النوبة المعبر الحضارى	وليم. ى. آدمز	فؤاد عكود
٦٢٢-	أشعار من عالم اسمه الصين	أى تشينغ	أمير نبيه وعبدالرحمن حجازى

٦٢٣-	نوادر جحا الإيرانى	سعيد قانعى	يوسف عبدالفتاح
٦٢٤-	أزمة العالم الحديث	رينيه جينو	عمر الفاروق
٦٢٥-	الجرح السرى	جان جينيه	محمد برادة
٦٢٦-	مختارات شعرية مترجمة (جـ٢)	نخبة	توفيق على منصور
٦٢٧-	حكايات إيرانية	نخبة	عبدالوهاب علوب
٦٢٨-	أصل الأنواع	تشارلس داروين	مجدى محمود المليجى
٦٢٩-	قرن آخر من الهيمنة الأمريكية	نيقولاس جويات	عزة الخميسى
٦٣٠-	سيرتى الذاتية	أحمد بللو	صبرى محمد حسن
٦٣١-	مختارات من الشعر الأفريقى المعاصر	نخبة	بإشراف: حسن طلب
٦٣٢-	المسلمون واليهود فى مملكة فالنسيا	دولورس برامون	رانيا محمد
٦٣٣-	الحب وفنونه	نخبة	حمادة إبراهيم
٦٣٤-	مكتبة الإسكندرية	روى ماكلويد وإسماعيل سراج الدين	مصطفى البهنساوى
٦٣٥-	التثبيت والتكيف فى مصر	جودة عبد الخالق	سمير كريم
٦٣٦-	حج يولندة	جناب شهاب الدين	سامية محمد جلال
٦٣٧-	مصر الخديوية	ف. روبرت هنتر	بدر الرفاعى
٦٣٨-	الديمقراطية والشعر	روبرت بن وارين	فؤاد عبد المطلب
٦٣٩-	فندق الأرق	تشارلز سيميك	أحمد شافعى
٦٤٠-	ألكسياد	الأميرة أنّاكومنينا	حسن حبشى
٦٤١-	برتراندرسل (مختارات)	برتراند رسل	محمد قدرى عمارة
٦٤٢-	داروين والتطور	جوناثان ميلر وبورين فان لون	ممدوح عبد المنعم
٦٤٣-	سفرنامه حجاز	عبد الماجد الدريابادى	سمير عبدالحميد إبراهيم
٦٤٤-	العلوم عند المسلمين	هوارد د.تيرنر	فتح الله الشيخ
٦٤٥-	السياسة الخارجية الأمريكية ومصادرها الداخلية	تشارلز كجلى ويوجين ويتكوف	عبد الوهاب علوب
٦٤٦-	قصة الثورة الإيرانية	سپهر ذبيح	عبد الوهاب علوب
٦٤٧-	رسائل من مصر	جون نينيه	فتحى العشرى
٦٤٨-	بورخيس	بياتريث سارلو	خليل كلفت
٦٤٩-	الخوف وقصص خرافية أخرى	نخبة	سحر يوسف
٦٥٠-	الدولة والسلطة والسياسة فى الشرق الأوسط	روجر أوين	عبد الوهاب علوب
٦٥١-	ديليسبس الذى لا نعرفه	وثائق قديمة	أمل الصبان
٦٥٢-	آلهة مصر القديمة	كلود ترونكر	حسن نصر الدين
٦٥٣-	مدرسة الطغاة	إيريش كستنر	سمير جريس
٦٥٤-	أساطير شعبية من أوزبكستان (جـ١)	نصوص قديمة	عبد الرحمن الخميسى
٦٥٥-	أساطير وآلهة	إيزابيل فرانكو	حليم طوسون ومحمود ماهر طه
٦٥٦-	خبز الشعب والأرض الحمراء	ألفونسو سامسترى	ممدوح البستاوى
٦٥٧-	محاكم التفتيش والموريسكيون	مرثيديس غارثيا- أرينال	خالد عباس
٦٥٨-	حوارات مع خوان رامون خيمينيث	خوان رامون خيمينيث	صبرى التهامى
٦٥٩-	قصائد من إسبانيا وأمريكا اللاتينية	نخبة	عبداللطيف عبدالحليم
٦٦٠-	نافذة على أحدث العلوم	ريتشارد فايفيلد	هاشم أحمد محمد
٦٦١-	روائع أندلسية إسلامية	نخبة	صبرى التهامى

٦٦٢-	رحلة إلى الجذور	داسو سالدييار	صبري التهامي
٦٦٣-	امرأة عادية	ليوسيل كليفتون	أحمد شافعي
٦٦٤-	الرجل على الشاشة	ستيفن كوهان - إنا راى هارك	عصام زكريا
٦٦٥-	عوالم أخرى	بول دافيز	هاشم أحمد محمد
٦٦٦-	تطور الصورة الشعرية عند شكسبير	وولفجانج اتش كليمن	مدحت الجيار
٦٦٧-	الأزمة القادمة لعلم الاجتماع الغربي	ألفن جولدنر	على ليلة
٦٦٨-	ثقافات العولمة	فريدريك چيمسون - ماساو ميوشى	ليلى الجبالى
٦٦٩-	ثلاث مسرحيات	وول شوينكا	نسيم مجلى
٦٧٠-	أشعار جوستاف أدولفو	جوستاف أدولفو	ماهر البطوطى
٦٧١-	قل لي كم مضى على رحيل القطار؟	جيمس بولدوين	على عبدالأمير صالح
٦٧٢-	مختارات قصائد فرنسية للأطفال	نخبة	إبتهال سالم
٦٧٣-	ضرب الكليم	محمد إقبال	جلال السعيد الحفناوى
٦٧٤-	ديوان الإمام الخمينى	آية الله العظمى الخمينى	محمد علاء الدين منصور
٦٧٥-	أثينا السوداء (جـ٢، مج١)	مارتن برنال	بإشراف: محمود إبراهيم السعدنى
٦٧٦-	أثينا السوداء (جـ٢، مج٢)	مارتن برنال	بإشراف: محمود إبراهيم السعدنى
٦٧٧-	تاريخ الأدب في إيران (جـ١ ، مج١)	إدوارد جرانڤيل براون	أحمد كمال الدين حلمى
٦٧٨-	تاريخ الأدب في إيران (جـ٢ ، مج٢)	إدوارد جرانڤيل براون	أحمد كمال الدين حلمى
٦٧٩-	مختارات شعرية مترجمة (جـ٢)	وليام شكسبير	توفيق على منصور
٦٨٠-	سنوات الطفولة	وول سوينكا	سمير عبد ربه
٦٨١-	هل يوجد نص في هذا الفصل؟	ستانلى فش	أحمد الشيمى
٦٨٢-	نجوم حظر التجول الجديد	بن أوكرى	صبرى محمد حسن
٦٨٣-	سكين واحد لكل رجل	تى. م. ألوكو	صبرى محمد حسن
٦٨٤-	الأعمال القصصية (جـ١)	أوراثيو كيروجا	رزق أحمد بهنسى
٦٨٥-	الأعمال القصصية (جـ٢)	أوراثيو كيروجا	رزق أحمد بهنسى
٦٨٦-	امرأة محاربة	ماكسين هونج كنجستون	سحر توفيق
٦٨٧-	محبوبة	فتانة حاج سيد جوادى	ماجدة العنانى
٦٨٨-	الانفجارات الثلاثة الكبرى	فيليب م. دوبر وريتشارد أ. موار	فتح الله الشيخ وأحمد السماحى
٦٨٩-	الملف	تاديوش روجيفيتش	هناء عبد الفتاح
٦٩٠-	محاكم التفتيش في فرنسا	چوزيف ر. ستراير	رمسيس عوض
٦٩١-	ألبرت أينشتين: حياته وغرامياته	دنيس براين	رمسيس عوض
٦٩٢-	الوجودية	ريتشارد أبيجانسى وأوسكار زاريت	حمدى الجابرى
٦٩٣-	القتل الجماعي: المحرقة	حاييم برشيت وآخران	جمال الجزيرى
٦٩٤-	دريدا	جيف كولينز وبيل ماييلين	حمدى الجابرى
٦٩٥-	رسل	ديف روبنسون وجودى جروف	إمام عبدالفتاح إمام
٦٩٦-	روسو	ديف روبنسون وأوسكار زاريت	إمام عبدالفتاح إمام
٦٩٧-	أرسطو	روبرت ودفين وجودى جروفس	إمام عبدالفتاح إمام
٦٩٨-	عصر التنوير	ليود سبنسر وأندرزيجى كروز	إمام عبدالفتاح إمام
٦٩٩-	التحليل النفسي	إيفان وارد وأوسكار زاراتى	جمال الجزيرى
٧٠٠-	حقيقة كاتب	ماريو فرجاش	بسمة عبدالرحمن

٧٠١- الذاكرة والحداثة	وليم رود فيفيان	منى البرنس
٧٠٢- الأمثال الفارسية	أحمد وكيليان	محمود علاوى
٧٠٣- تاريخ الأدب فى إيران (جـ٢)	إدوارد جرانفيل براون	أمين الشواربى
٧٠٤- فيه ما فيه	مولانا جلال الدين الرومى	محمد علاء الدين منصور وآخران
٧٠٥- فضل الأنام من رسائل حجة الإسلام	الإمام الغزالى	عبدالحميد مدكور
٧٠٦- الشفرة الوراثية وكتاب التحولات	جونسون ف. يان	عزت عامر
٧٠٧- فالتر بنيامين	نخبة	وفاء عبدالقادر
٧٠٨- قراءة من؟	دونالد مالكولم ريد	رءوف عباس
٧٠٩- معنى الحياة	ألفريد أدلر	عادل نجيب بشرى
٧١٠- الأطفال: التكنولوجيا والثقافة	يان هاتشباى وجوموران - إليس	دعاء محمد الخطيب
٧١١- درة التاج	ميرزا محمد هادى رسوا	هناء عبد الفتاح
٧١٢- الإلياذة (جـ١)	هوميروس	سليمان البستانى
٧١٣- الإلياذة (جـ٢)	هوميروس	سليمان البستانى
٧١٤- حديث القلوب	لامنيه	حنا صاوه
٧١٥- جامعة كل المعارف (جـ١)	مجموعة من المؤلفين	نخبة من المترجمين
٧١٦- جامعة كل المعارف (جـ٢)	مجموعة من المؤلفين	نخبة من المترجمين
٧١٧- جامعة كل المعارف (جـ٣)	مجموعة من المؤلفين	نخبة من المترجمين
٧١٨- جامعة كل المعارف (جـ٤)	مجموعة من المؤلفين	نخبة من المترجمين
٧١٩- جامعة كل المعارف (جـ٥)	مجموعة من المؤلفين	نخبة من المترجمين
٧٢٠- جامعة كل المعارف (جـ٦)	مجموعة من المؤلفين	نخبة من المترجمين
٧٢١- فلسفة المتكلمين فى الإسلام (مج١)	هارى أ. ولفسون	مصطفى لبيب عبد الغنى
٧٢٢- الصفيحة وقصص أخرى	بشار كمال	الصفصافى أحمد القطورى
٧٢٣- تحديات ما بعد الصهيونية	إفرايم نيمنى	أحمد ثابت
٧٢٤- اليسار الفرويدى	بول روبنسون	عبده الريس
٧٢٥- الاضطراب النفسى	جون فيتكس	مى مقلد
٧٢٦- الموريسكيون فى الغرب	غييرمو غوثاليس بوستو	مروة محمد إبراهيم
٧٢٧- حلم البحر	باچين	وحيد السعيد
٧٢٨- العولمة: تدمير العمالة والنمو	موريس أليه	أميرة جمعة
٧٢٩- الثورة الإسلامية فى إيران	صادق زيباكلام	هويدا عزت
٧٣٠- حكايات من السهول الأفريقية	آن جاتى	عزت عامر
٧٣١- النوع: الذكر والأنثى بين التميز والاختلاف	نخبة	محمد قدرى عمارة
٧٣٢- قصص بسيطة	إنجو شولتسه	سمير جريس
٧٣٣- مأساة عطيل	وليم شيكسبير	محمد مصطفى بدوى
٧٣٤- بونابرت فى الشرق الإسلامى	أحمد يوسف	أمل الصبان
٧٣٥- فن السيرة فى العربية	مايكل كوبرسون	محمود محمد مكى
٧٣٦- التاريخ الشعبى للولايات المتحدة (جـ١)	هوارد زن	شعبان مكاوى
٧٣٧- الكوارث الطبيعية (جـ٢)	باتريك ل. أبوت	توفيق على منصور
٧٣٨- دمشق من عصر ما قبل التاريخ إلى الدولة المملوكية (جـ١)	جيرار دى جورج	محمد عواد
٧٣٩- دمشق من الإمبراطورية العثمانية حتى الوقت الحاضر (جـ٢)	جيرار دى جورج	محمد عواد

٧٤٠-	خطابات القوة	بارى هندس	مرفت ياقوت
٧٤١-	الإسلام وأزمة العصر	برنارد لويس	أحمد هيكل
٧٤٢-	أرض حارة	خوسيه لاكوادرا	رزق بهنسى
٧٤٣-	الثقافة منظور دارويني	روبرت أونجر	شوقى جلال
٧٤٤-	ديوان الأسرار والرموز	محمد إقبال	سمير عبد الحميد
٧٤٥-	المآثر السلطانية	بيك الدنبلى	محمد أبو زيد
٧٤٦-	تاريخ التحليل الاقتصادى (مج١)	جوزيف . أ. شومبيتر	حسن النعيمى
٧٤٧-	المجاز فى لغة السينما	تريفور وايتوك	إيمان عبد العزيز
٧٤٨-	تدمير النظام العالمى	فرانسيس بويل	سمير كريم
٧٤٩-	أيكولوجيا لغات العالم	ل.ج. كالفيه	باتسى جمال الدين
٧٥٠-	الإلياذة	هوميروس	أحمد عتمان
٧٥١-	الإسراء والمعراج فى تراث الشعر الفارسى	نخبة	علاء السباعى
٧٥٢-	ألمانيا بين عقدتى الذنب والخوف	جمال قارصلى	نمر عاروري
٧٥٣-	التنمية والقيم	إسماعيل سراج الدين وآخرون	محسن يوسف
٧٥٤-	الشرق والغرب	أنّا مارى شيمل	عبدالسلام حيدر
٧٥٥-	تاريخ الشعر الإسبانى خلال القرن العشرين	أندرويه ديبكى	على إبراهيم منوفى
٧٥٦-	ذات العيون الساحرة	إنريكى خارديل بونثيلا	خالد محمد عباس
٧٥٧-	تجارة مكة	باتريشيا كرون	آمال الروبى
٧٥٨-	الإحساس بالعولمة	بروس روبنز	عاطف عبدالحميد
٧٥٩-	النثر الأردى	مولوى سيد محمد	جلال السعيد الحفناوى
٧٦٠-	الدين والتصور الشعبى للكون	السيد الأسود	السيد الأسود
٧٦١-	جيوب مثقلة بالحجارة	فيرجينيا وولف	فاطمة ناعوت
٧٦٢-	المسلم عدواً و صديقاً	ماريا سوليداد	عبدالعال صالح
٧٦٣-	الحياة فى مصر	أنريكو بيا	نجوى عمر
٧٦٤-	ديوان غالب الدهلوى (شعر غزل)	غالب الدهلوى	حازم محفوظ
٧٦٥-	ديوان خواجة الدهلوى (شعر تصوف)	خواجة الدهلوى	حازم محفوظ
٧٦٦-	الشرق المتخيل	تيرى هنتش	غازى برو وخليل أحمد خليل
٧٦٧-	الغرب المتخيل	نسيب سمير الحسينى	غازى برو
٧٦٨-	حوار الثقافات	محمود فهمى حجازى	محمود فهمى حجازى
٧٦٩-	أبناء أحياء	فريدريك هتمان	رندا النشار وضياء زاهر
٧٧٠-	السيدة بيرفيكتا	بينيتو بيريث جالدوس	صبرى التهامى
٧٧١-	السيد سيجوندو سومبرا	ريكاردو جويرالديس	صبرى التهامى
٧٧٢-	برخت ما بعد الحداثة	إليزابيث رايت	محسن مصيلحى
٧٧٣-	دائرة المعارف الدولية ج٢	جون فيزر وبول ستيرجز	محمد فتحى عبدالهادى
٧٧٤-	الديموقراطية الأمريكية.. التاريخ والمرتكزات	نخبة	حسن عبد ربه المصرى
٧٧٥-	مرآة العروس	نذير أحمد الدهلوى	جلال الحفناوى
٧٧٦-	منظومة مصيبت نامه (مج١)	فريد الدين العطار	محمد محمد يونس
٧٧٧-	الانفجار الأعظم	جيمس إ. ليدسى	عزت عامر
٧٧٨-	صفوة المديح	مولانا محمد أحمد، ورضا القادرى	حازم محفوظ
٧٧٩-	مختارات من الأدب اليابانى المعاصر	نخبة	سمير عبدالحميد إبراهيم، وسارة تاكاهاشى

٧٨٠-	من أدب الرسائل الهندية حجاز ١٩٣٠	غلام رسول مهر	سمير عبد الحميد إبراهيم
٧٨١-	الطريق إلى بكين	هدى بدران	نبيلة بدران
٧٨٢-	المسرح المسكون	مارفن كارلسون	جلال عبد المقصود
٧٨٣-	العولمة والرعاية الإنسانية	فيك جورج وبول ويلدنج	طلعت السروجي
٧٨٤-	الإساءة للطفل	ديفيد أ. وولف	جمعة سيد يوسف
٧٨٥-	تأملات عن تطور ذكاء الإنسان	كارل سجان	سمير حنا صادق
٧٨٦-	المتنبئة	مارجريت أتوود	سحر توفيق
٧٨٧-	العودة من فلسطين	جوزيه بوفيه	إيناس صادق
٧٨٨-	سر الأهرامات	ميروسلاف فرنر	خالد أبو اليزيد البلتاجي
٧٨٩-	الانتظار	هاجين	منى الدروبي
٧٩٠-	الفرانكفونية العربية	مونيك بونتو	جيهان العيسوي
٧٩١-	العطور ومعامل العطور في مصر القديمة	محمد الشيمي	ماهر جويجاتي
٧٩٢-	دراسات حول القصص القصيرة	منى ميخائيل	منى إبراهيم
٧٩٣-	ثلاث رؤى للمستقبل	جون جريفيس	رءوف وصفي
٧٩٤-	التاريخ الشعبي للولايات المتحدة (جـ٢)	هوارد زن	شعبان مكاوي
٧٩٥-	مختارات من الشعر الإسباني (جـ١)	نخبة	على اليمبي
٧٩٦-	آفاق جديدة في دراسة اللغة والذهن	تشومسكي	حمزة المزيني
٧٩٧-	الرؤية في ليلة معتمة (مختارات)	نخبة	طلعت شاهين
٧٩٨-	الإرشاد النفسي للأطفال	كاترين جيلدرد ودافيد جيلدرد	سميرة أبو الحسن
٧٩٩-	سلم السنوات	آن تيلر	عبد الحميد الجمال
٨٠٠-	قضايا في علم اللغة التطبيقي	ميشيل ماكارثي	عبد الجواد توفيق
٨٠١-	نحو مستقبل أفضل	نخبة	نخبة
٨٠٢-	مسلمو غرناطة في الآداب الأوروبية	ماريا سوليداد	شرين محمود الرفاعي
٨٠٣-	التغير والتنمية في القرن العشرين	توماس باترسون	عزة الخميسي
٨٠٤-	سوسيولوجيا الدين	دانيل هيرڤيه ليجيه وجان بول ويلام	درويش الحلوجي
٨٠٥-	من لا عزاء لهم	كازو إيشيجورو ليش	طاهر البربري
٨٠٦-	الطبقة العليا المتوسطة	ماجدة بركة	محمود ماجد
٨٠٧-	يحيى حقي : تشريح مفكر مصري	ميريام كوك	خيري دومة
٨٠٨-	الشرق الأوسط والولايات المتحدة	ديفيد دابليو ليش	أحمد محمود
٨٠٩-	تاريخ الفلسفة السياسية (جـ١)	ليو شتراوس وجوزيف كروبسي	محمود سيد أحمد
٨١٠-	تاريخ الفلسفة السياسية (جـ٢)	ليو شتراوس وجوزيف كروبسي	محمود سيد أحمد
٨١١-	تاريخ التحليل الاقتصادي (مج٢)	جوزيف أ.شومبيتر	حسن النعيمي
٨١٢-	تأمل العالم: الصورة والأسلوب في الحياة الاجتماعية	ميشيل مافيزولي	فريد الزاهي
٨١٣-	لم أخرج من ليلى	آني إرنو	نورا أمين
٨١٤-	الحياة اليومية في مصر الرومانية	نافتالي لويس	آمال الروبي
٨١٥-	فلسفة المتكلمين (مج٢)	هاري أ. ولفسون	مصطفى لبيب عبد الغني
٨١٦-	العدو الأمريكي أصول النزعة الفرنسية المعادية لأمريكا	فيليب روجيه	بدر الدين عرودكي

٨١٧-	مائدة أفلاطون : كلام فى الحب	أفلاطون	محمد لطفى جمعة
٨١٨-	الحرفيون والتجار فى القرن ١٨ (جـ١)	أندريه ريمون	ناصر أحمد إبراهيم و باتسى جمال الدين
٨١٩-	الحرفيون والتجار فى القرن ١٨ (جـ٢)	أندريه ريمون	ناصر أحمد إبراهيم و باتسى جمال الدين
٨٢٠-	هملت	شكسبير	طانيوس أفندى
٨٢١-	هفت بيكر	نور الدين عبد الرحمن الجامى	عبد العزيز بقوش
٨٢٢-	فن الرباعى	نخبة	محمد نور الدين
٨٢٣-	وجه أمريكا الأسود	نخبة	أحمد شافعى
٨٢٤-	لغة الدراما	دافيد برتش	ربيع مفتاح
٨٢٥-	حضارة عصر النهضة فى إيطاليا (جـ١)	ياكوب بوكهارت	عبد العزيز توفيق جاويد
٨٢٦-	حضارة عصر النهضة فى إيطاليا (جـ٢)	ياكوب بوكهارت	عبد العزيز توفيق جاويد
٨٢٧-	البدو والمستوطنات والذين يقضون العطلات	دونالد پ.كول وثريا تركى	محمد على فرج
٨٢٨-	النظرية النسبية	ألبرت أينشتين	رمسيس شحاتة

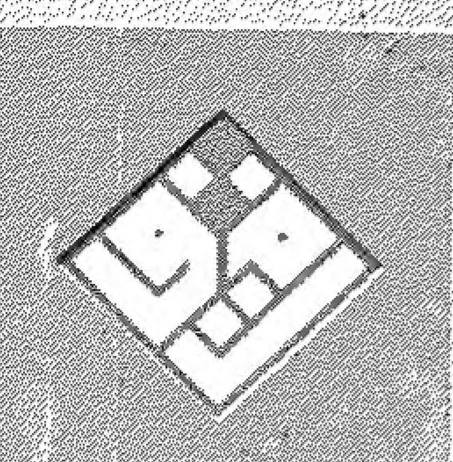
طبع بالهيئة العامة لشئون المطابع الأميرية

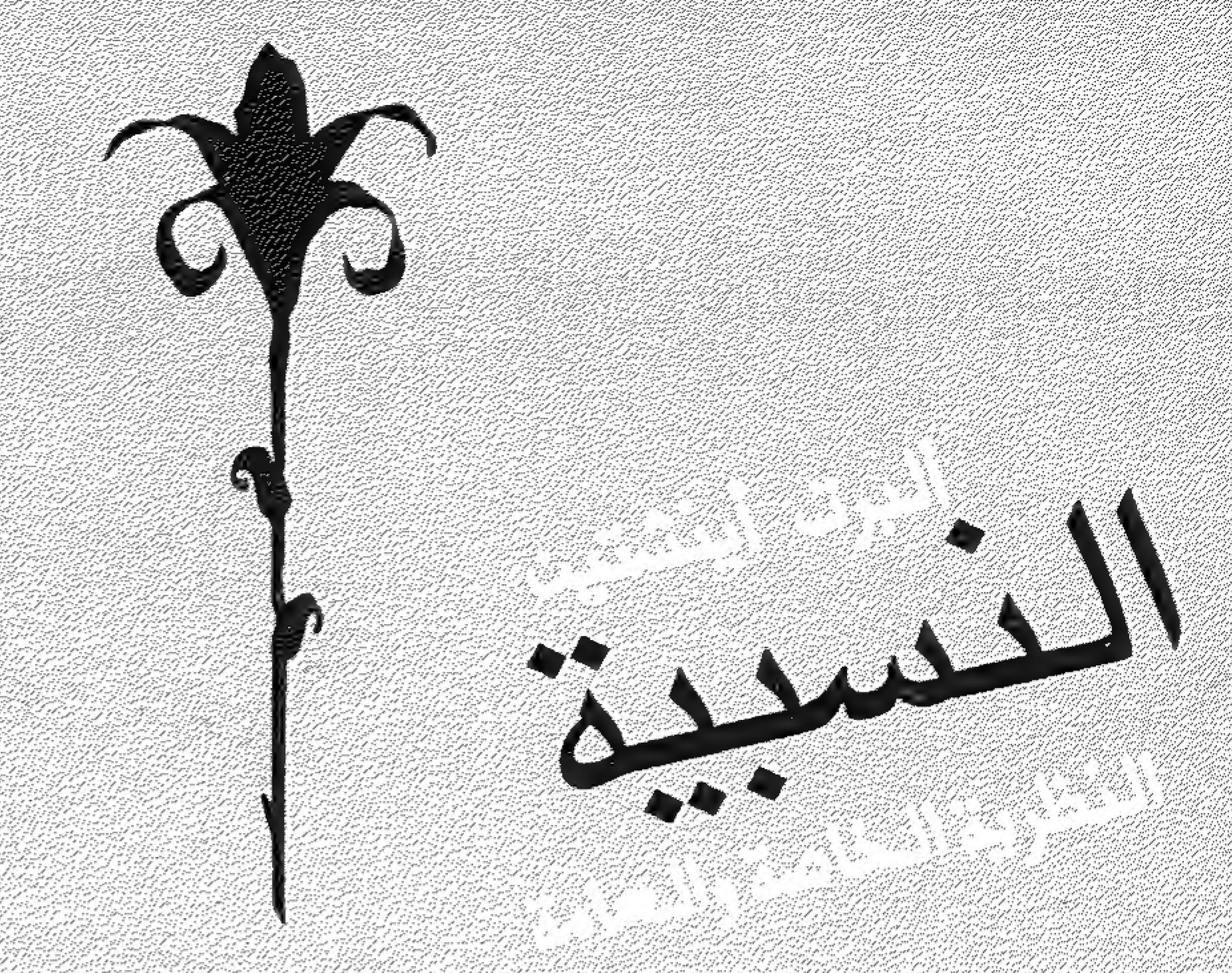
رقم الإيداع ٧٠٢٦ / ٢٠٠٥

الرقم الدولى - 977-305-806-9

تم تصوير وطبع هذا الكتاب من نسخة مطبوعة







هذا الكتاب الذى ألفه صاحب النظرية النسبية ألبرت أينشتين، والذى نشر عام ١٩١٦، وأعيد طبعه بلغته الإنجليزية خمس عشرة مرة على الأقل، وتمت ترجمته منذ حوالى ٤٠ عامًا، لا يزال من أفضل الكتب البسيطة عن النظرية النسبية الخاصة والعامة، وسبب ذلك أن صاحب النظرية يقدم فيه أسسها فى سهولة ويسر، ويتغلب فى براعة فائقة على تردد المتطبعين بالفيزياء الكلاسيكية فى الانفلات من الهندسة الإقليدية وما يصاحب ذلك من عدم القبول بالجديد. إن من أهم مميزات الكتاب أيضًا أنه موجه للدارسين فى نهاية المرحلة الثانوية من التعليم، ويطالبهم بالصبر وبذل الجهد.

إن نتائج النظرية النسبية وتطبيقاتها قد طورت المعرفة العلمية، وأوصلت إلى غزو الفضاء وفك الكثير من أسراره، كما ساعدت على دراسة وتطوير نظرية الجسيمات الأولية والكثير من موضوعات الفيزياء الحديثة، كما أن التنبؤات التى طرحتها النظرية النسبية فى الثلاثينيات والأربعينيات من القرن الماضى قد تحققت عن طريق العالمين أوبنهايمر وجورج جامو، وقد تم الكشف عن ذلك فى النصف الثانى من القرن العشرين.



تصميم الغلاف: أسامة العبد